



# Litologia i zawartość bromu w najstarszej soli kamiennej w otworze BG-3-3 na obszarze Kazimierzów 1, O/ZG Polkowice – Sieroszowice

*Lithology and bromine content of the Oldest Halite from BG-3-3 borehole in the Kazimierzów 1 area, Polkowice – Sieroszowice Mining Area*

Karolina KSIĘŻOPOLSKA<sup>1</sup>, Joanna WRZOSEK<sup>2</sup>, Krzysztof BUKOWSKI<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;  
e-mail: ksiezopolska.ka@gmail.com, buk@agh.edu.pl

<sup>2</sup>KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG Polkowice-Sieroszowice, Kaźmierzów 100, 59-101 Polkowice;  
e-mail: joanna.wrzosek@kgm.com

## STRESZCZENIE

Niska zawartość bromu (7 – 45 ppm) w najstarszej soli kamiennej z otworu BG-3-3 zlokalizowanego w obszarze Kazimierzów 1, kopalnia Polkowice – Sieroszowice (monoklina przedsudecka) wskazuje, że są to sole kamienne wtórne. Po przeprowadzonych badaniach petrologicznych i geochemicznych przedstawiono charakterystykę soli kamiennej badanego otworu wraz z przypisaniem do stosowanych wydzieleń petrologicznych. Określono koncentracje bromu i wielkość współczynnika bromochlorowego dla poszczególnych typów soli. Zawartość bromu w solach kamiennych jest bardzo dobrym wskaźnikiem ich genezy, gdyż jego koncentracje w tych utworach są ściśle związane ze stopniem zaawansowania cyklu ewaporatowego. Pozwala to na określenie warunków sedymentacji i wskazanie ewentualnych procesów prowadzących do przeobrażenia skał solnych. Prawdopodobną przyczyną niskiej zawartości bromu jest rekrystalizacja wcześniej wytrąconych soli pierwotnych w warunkach intensywnych procesów tektonicznych obszaru monokliny przedsudeckiej oraz duża zawartość materiału terygenicznego w profilu, która ma wpływ na zmniejszenie stężenia bromu w utworach solnych.

**Słowa kluczowe:** sól kamienna najstarsza, monoklina przedsudecka, metoda bromowa

## ABSTRACT

The low content of bromine (7 – 45 ppm) in the Oldest Halite rock salt from the BG-3-3 borehole located in Kazimierzów field in the Polkowice – Sieroszowice mine (Fore-Sudetic Monocline, SW Poland) indicates that the rock salt are secondary type. On the basis of petrological and geochemical analyses lithological characteristic of salt from the tested borehole with the assignment to use petrological classification was elaborated. The concentrations of bromine and the bromine-chlorine ratio for different types of salt were determined. Bromine content in the rock salt is a very good indicator of the origin, because of the relationship of bromine concentration with the degree of evaporation. This allows to determine the conditions of sedimentation and identify any processes leading to the transformation of rock salt. The probable reason for low bromine content is recrystallization of the previously precipitated primary salt, especially in the environment of intensive tectonic processes in the area of Fore-Sudetic monocline and high content of terrigenous material in the profile, which also have the effect of decrease of the bromine concentration in the salt formation.

**Key words:** rock salt, Fore-Sudetic Monocline, bromine method, Oldest Halite

## WSTĘP

Obszar „Kazimierzów 1» znajduje się w obrębie złoża soli kamiennej Sieroszowice i zlokalizowany jest w gminie Jerzmanowa, w powiecie głogowskim, w województwie dolnośląskim (Ryc.1). W obszarze O/G Sieroszowice najstarsza sól kamienna tworzy nieregularny pokład o średniej miąższości 69,2 m i rozciągłości zbliżonej do kierunku „równoleżnikowego” (WNW- ESE), przy ogólnie łagodnym zapadaniu warstw pod kątem 3-8° (lokalnie do 15°) ku NE i występuje około 20-100 m ponad stropem łupka miedzionośnego. Zaleganie monoklinalne jest zazwyczaj zaburzone, głównie w powierzchni spągowej warstw (Kijewski, Salski 1978, Szybist 1978, Garlicki 1996, Banaszak, Garlicki, Markiewicz 2007, Szybist 2011). W O/ZG Polkowice-Sieroszowice sklasyfikowano 8 typów soli kamiennej ze względu na jej barwę oraz stopień zanieczyszczenia, głównie anhydrytem i substancją ilastą (Szybist 2011, Szybist, Toboła 2012). Między innymi są to: sole kamienne czyste, sole jasno- i ciemnoszare, sole kamienne z laminami, smugami lub drobnymi warstwami anhydrytu a także sole kamienne z grubymi przerostami anhydrytu.

## METODYKA BADAŃ

Z rdzenia otworu BG-3-3 do badań geochemicznych pobrano 32 próbki, z czego 18 z wiercenia w strop (próbki od T-1 do T-18) oraz 14 z wiercenia w spąg (próbki od P-1 do P-14). Próbki reprezentują różne odmiany skał solnych, różnią się zabarwieniem, strukturą oraz stopniem zanieczysz-

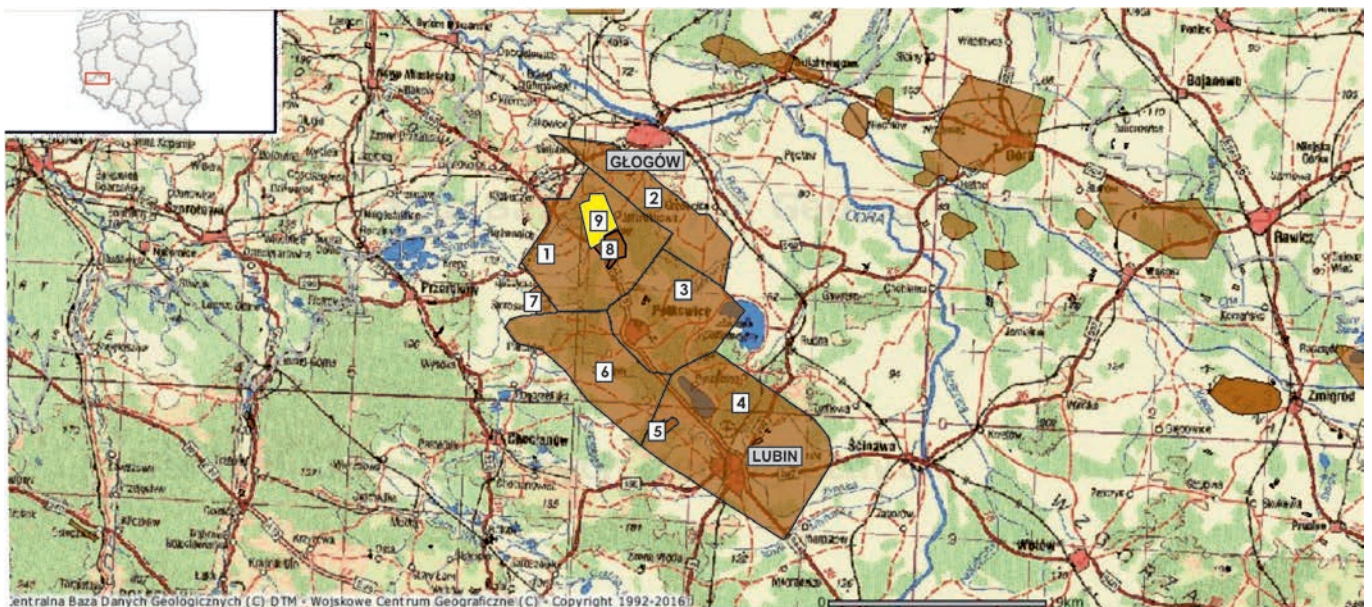
czenia. Barwa soli zmienia się od przezroczystej przez białą do szarej, struktura jest średnio- i grubokrystaliczna a tekstura zbita, bezładna. Próbki po analizie petrograficznej poddano badaniom geochemicznym.

Rozdrobnione i wysuszone próbki rozpuszczono i oznaczono zawartość części nierozpuszczalnych metodą wagową. Następnie w przesączu oznaczono zawartość chloru metodą argentometryczną wg Mohra. Oznaczenia bromu wykonano metodą fotometryczną. Analizy chemiczne wykonano w Akredytowanym Laboratorium Hydrogeochemicznym na Wydziale Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska AGH w Krakowie.

Wyniki oznaczeń chemicznych przeliczono na skład mineralny, a oznaczona zawartość bromu została przeliczona na czysty halit. Średnie zawartości składników głównych w poszczególnych typach petrologicznych soli dla wszystkich 32 próbek z otworu BG-3-3 zestawiono w tab. 1. Rozkłady koncentracji bromu oraz zmienność współczynnika bromochlorowego w profilu litostratygraficznym złoża zostały przedstawione na wykresach (Ryc. 3 i 4).

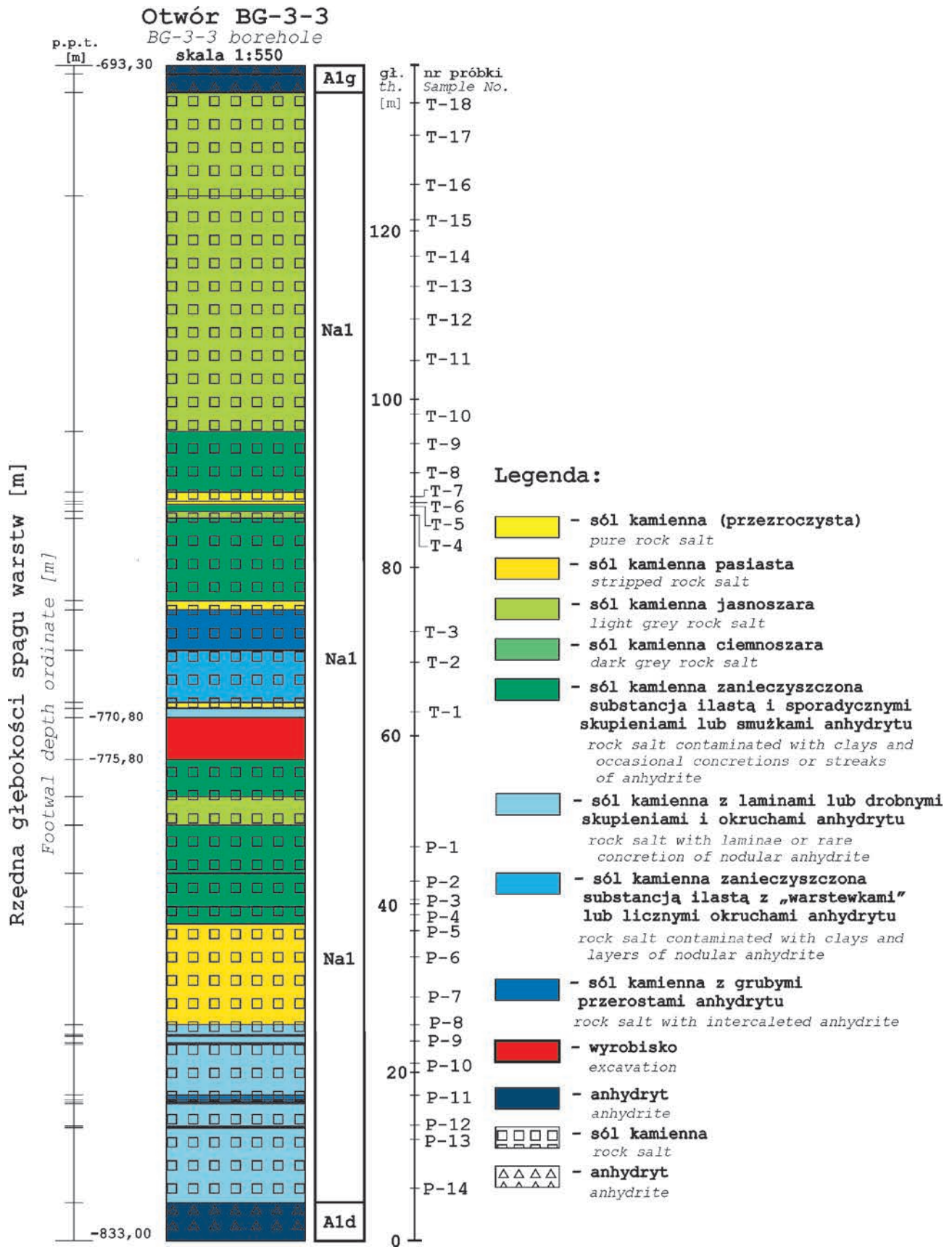
## OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA LITOSTRATYGRAFICZNA OTWORU BG-3-3

Otwór BG-3-3 jest otworem podziemnym (dołowym) i jest zlokalizowany w granicznej części obszaru „Kazimierzów 1”. Wiercenie wykonano w strop i w spąg wyrobiska w celu badawczym, w 2014 r. Długość rozpoznanego profilu to 139,7 m (wiercenie I (w strop) – 77,5 m, wiercenie



**Ryc. 1.** Lokalizacja pola „Kazimierzów 1” na tle mapy topograficznej ([www.bazagis.pgi.gov.pl](http://www.bazagis.pgi.gov.pl)) 1 – OG Sieroszowice, 2 – OG Głogów Głęboki-Przemysłowy, 3 – OG Rudna, 4 – OG Lubin- Małomice, 5 – OG Obora II, 6 – OG Polkowice, 7 – OG Radwanice-Wschodnie, 8 – OG Bądzów, 9 – obszar Kazimierzów 1

**Fig. 1.** Localisation of the „Kazimierzów 1” field in the topographic map background ([www.bazagis.pgi.gov.pl](http://www.bazagis.pgi.gov.pl)) 1 – Sieroszowice MA, 2 – Głogów Głęboki-Przemysłowy MA, 3 – Rudna MA, 4 – Lubin- Małomice MA, 5 – Obora II MA, 6 – Polkowice MA, 7 – Radwanice-Wschodnie MA, 8 – Bądzów MA, 9 – Kazimierzów 1 area



Ryc. 2. Profil litologiczny otworu BG-3-3 (A1d – anhydryt dolny, Na1 – najstarsza sól kamienna, A1g – anhydryt górny)

Fig. 2. Lithological profile of the BG-3-3 borehole (A1d – the Lower Anhydrite, Na1 – the Oldest Halite, A1g – the Upper Anhydrite)

II (w spąg) – 57,2 m). Według obowiązującej klasyfikacji charakterystyki petrologicznej soli na terenie O/ZG Polkowice

– Sieroszowice (Szybist 2011) w profilu wyróżniono 34 warstwy ze względu na typ litologiczny soli (Ryc. 2.)

**Tabela 1.** Średnie zawartości halitu, bromu, części nierozpuszczalnych w wodzie oraz anhydrytu w poszczególnych typach petrologicznych soli kamiennej.**Table 1.** Mean content of halite, bromine, insoluble parts and anhydrite in petrological types of rock salt

<b>TYP SOLI</b> <i>Lithological type of rock salt</i>	<b>POBRANE PRÓBKI</b> <i>Taken samples</i>	<b>NaCl [%]</b>	<b>Br [ppm]</b>		<b>Cz. n-rozp.</b> <i>Insoluble parts [%]</i>	<b>CaSO<sub>4</sub> [%]</b>
sól kamienna czysta <i>pure rock salt</i>	T-6, T-7	92,41	11,78	0,02	b.d.	1,17
sól kamienna pasiasta <i>stripped rock salt</i>	P-5, P-6, P-7	87,53	16,51	0,03	6,12	8,29
sól kamienna jasnoszara <i>light grey rock salt</i>	T-4, T-10, T-11, T-12, T-13, T-14, T-15, T-16, T-17, T-18	93,06	10,9	0,02	0,59	0,92
sól kamienna zanieczyszczona substancją ilastą i sporadycznymi skupieniami lub smużkami anhydrytu <i>rock salt contaminated with clays and occasional concretions or streaks of anhydrite</i>	P-1, P-2, P-3, T-5, T-8, T-9	94,00	17,43	0,03	1,95	1,95
sól kamienna z laminami lub drobnymi skupieniami i okruchami anhydrytu <i>rock salt with laminae or rare concretions of nodular anhydrite</i>	T-1, P-4, P-8, P-9, P-10, P-12, P-13, P-14	83,63	18,45	0,04	8,46	11,52
sól kamienna zanieczyszczona substancją ilastą z „warstewkami” lub licznymi okruchami anhydrytu <i>rock salt contaminated with clays and layers of nodular anhydrite</i>	T-2	91,23	42,16	0,08	4,47	8,06
sól kamienna z grubymi przerostami anhydrytu <i>rock salt with intercalated anhydrite</i>	T-3, P-11	77,54	27,51	0,06	10,59	11,87

## WYNIKI I INTERPRETACJA

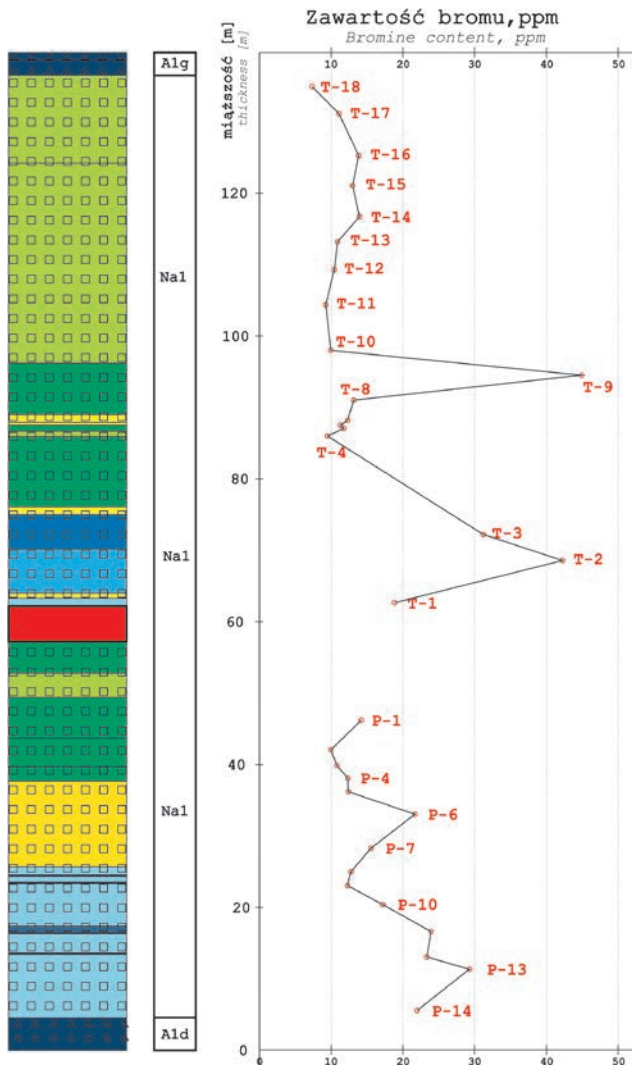
Średnia zawartość NaCl w profilu wynosi od 77,54 do 94,00 %. Najwyższą zawartość stwierdzono w próbce soli czystej reprezentującej sól kamienną pasiastą (98,43%). Najniższą zawartość halitu w próbce reprezentującej typ soli kamiennej z grubymi przerostami anhydrytu (63,71%). Próbkę o niskiej zawartości NaCl odznaczają się dużym udziałem części nierozpuszczalnych w wodzie oraz/lub zwiększoną zawartością anhydrytu.

Średnia zawartość anhydrytu w próbkach waha się w granicach 0,92 do 11,87 %. Najwyższą zawartość stwierdzono w próbkach pobranych z części spągowej profilu reprezentujących sole kamienne z laminami lub drobnymi skupieniami i okruchami anhydrytu (29,88%). W części stopowej reprezentowanej przez sól jasnoszarą zawartość anhydrytu na ogół nie przekracza jednego procenta wagowego.

Z przeprowadzonych analiz wynika, że koncentracja bromu jest częściowo uzależniona od zawartości części nierozpuszczalnych w wodzie, w tym głównie minerałów ilastych

(Tab.1). Generalnie zauważalna jest tendencja wzrostowa średnich zawartości bromu wraz ze zwiększonym udziałem zanieczyszczeń w poszczególnych typach petrologicznych soli. Wyjątek stanowi sól kamienna zanieczyszczona substancją ilastą z „warstewkami” lub licznymi okruchami anhydrytu, którą reprezentowała tylko jedna próbka analityczna.

Brom w procesie ewaporacji wody morskiej wchodzi w struktury krystaliczne chlorków podstawiając się diadochowo za chlor lub jest absorbowany przez minerały ilaste (Valyashko 1956, Holser 1966, Holser 1979, Herrmann 1980, Holser, Wilgus 1981, Tomassi-Morawiec 1990). W przypadku niewielkiego udziału minerałów ilastych w serii solnej brom związany jest głównie z halitem (podstawienia za Cl). Zmienność w koncentracji tego pierwiastka w minerałach chlorkowych uzależniona jest przede wszystkim od zmian jego zawartości w macierzystych solankach. Deficyt bromu w solach może wynikać z wtórnych przeobrażeń np. poprzez cykle rozpuszczania wcześniej zdeponowanych soli w wyniku dopływu świeżych wód (w tym słodkich) do basenu ewaporatowego.

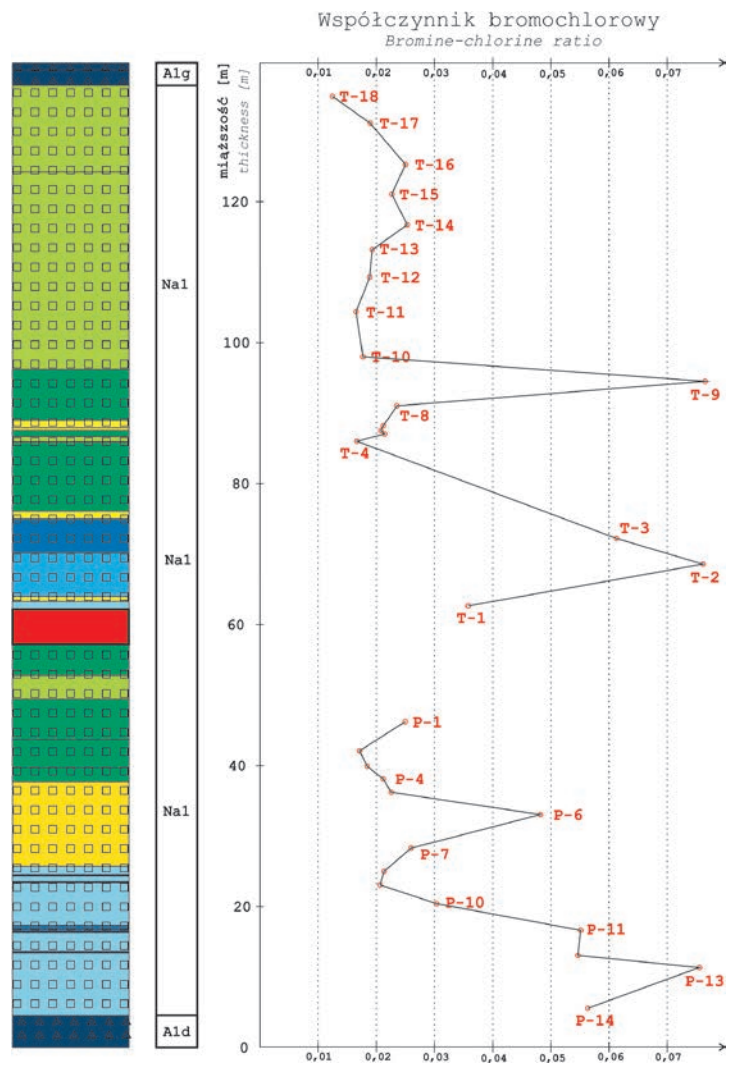


Ryc. 3. Rozkład zawartości bromu w otworze BG-3-3 (Ald – anhydryt dolny, Na1 – najstarsza sól kamienna, Alg – anhydryt górny)

Fig. 3. Distribution of bromine content in the BG-3-3 profile (Ald – the Lower Anhydrite, Na1 – the Oldest Halite, Alg – the Upper Anhydrite)

Niska zawartość bromu (7 – 45 ppm) świadczy o niewielkim stężeniu macierzystych roztworów (Tomassi-Morawiec 2001, Tomassi-Morawiec i in. 2009). Krzywe bromowe (zawartości bromu i współczynnika bromochlorowego) mają podobny przebieg. Na krzywej bromowej dla spągowej części profilu solnego można zauważyć stopniowy spadek zawartości bromu, co jest charakterystyczne dla strefy rezydualnej zbiornika ewaporatowego. W profilu warstw stropowych także obserwuje się generalną tendencję spadkową udziału bromu w solach wskazującą na stopniowe rozcieńczanie roztworów macierzystych. Nieznaczna zmienność zawartości bromu w całym profilu serii solnej wykazuje niewielkie wahania stężeń macierzystych solanek.

Otrzymane wyniki – niskie zawartości bromu (7 – 45 ppm, przy czym w zdecydowanej większości analizowanych próbek zawartość bromu nie przekracza 20 ppm) wskazują, że



Ryc. 4. Rozkład zawartości współczynnika bromochlorowego w otworze BG-3-3 (Ald – anhydryt dolny, Na1 – najstarsza sól kamienna, Alg – anhydryt górny)

Fig. 4. Distribution of bromine-chlorine ratio in the BG-3-3 profile (Ald – the Lower Anhydrite, Na1 – the Oldest Halite, Alg – the Upper Anhydrite)

badane utwory najstarszej soli kamiennej to w dużej części sole wtórne. Prawdopodobną przyczyną niskiej zawartości bromu jest rekrytalizacja wcześniej wytrąconych soli pierwotnych w warunkach intensywnej procesów tektonicznych obszaru monokliny przedsudeckiej oraz duża zawartość materiału terygenicznego w profilu, która ma wpływ na zmniejszenie stężenia bromu w utworach solnych.

## SUMMARY

This article is concerned about the analysis of the geology of rock salt in the Sierszowice rock salt deposit. The main issues presented are: lithology and attempt to identify the origins of rock salt in the deposit. In order to assess the type of rock salt (primary/secondary rock salt) petrological and geochemical surveys of the salt series from BG-3-3 borehole located in the “Kazimierzów 1” area situated in the Polko-

wice – Sierszowice rock salt deposit were made, including bromine content examination. Bromine content in the rock salt is a very good indicator of the origin genesis, because of the relationship of bromine concentration with the degree of evaporation cycle. This allows to determine the conditions of sedimentation and identify any processes leading to the transformation of rock salt.

Bromine in the rock salt diadochly substitutes chlorine in the process of evaporation or is absorbed by clay minerals (Valyashko 1956, Holser 1966, Holser 1979, Herrmann 1980, Holser, Wilgus 1981, Tomassi-Morawiec 1990). The foregoing analysis shows that in the case of a small clay minerals participation in a salt series bromine is mainly connected with halite (substitutions for Cl). Variations in the concentration depends on the physicochemical parameters of crystallization, for example the temperature or concentration of the brine. The deficit of bromine in salts may be caused by secondary transformations, for example, through cycles of dissolution and flow of fresh water into the evaporative basin.

The low bromine content (7 – 45 ppm, but most samples under 20 ppm) indicates that the Oldest Halite unit in the Fore-Sudetic Monocline are composed of secondary salts. The probable reason for low bromine content is recrystallization of the previously precipitated primary salt, especially in the environment of intensive tectonic processes in the area of Fore-Sudetic monocline and high content of terrigenous material in the profile, which also have the effect of decrease of the bromine concentration in the salt formation.

#### LITERATURA/REFERENCES

- BANASZAK A., GARLICKI A., MARKIEWICZ A., 2007. Budowa geologiczna złoża najstarszej soli kamiennej Kazimierzów w OG Sierszowice I (kopalnia Polkowice-Sierszowice). *Prze-  
gląd Solny*, Kwartalnik Gospodarka Surowcami Mineralnymi PAN, T. 23.
- GARLICKI A. (et al.), 1996. Sól kamienna na obszarze przedsudeckim. W: PIESTRZYŃSKI A. (red.), 1996. Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Lubin.
- HERRMANN A.G., 1980. Bromide distribution between halite and NaCl – saturated seawater. *Chem. Geol.*, 28: 171-177.
- HOLSER W.T., 1966. Bromide geochemistry of salt rocks. W: Second Symposium on Salt. Northern Ohio Geol. Soc.
- HOLSER W.T., 1979. Trace elements and isotopes in evaporates. In: Burns R.G. (ed.), *Marine minerals. Short Course Notes*. Mineralogical Society of America, 6, 295-346.
- HOLSER W.T., Wilgus C.K. 1981. Bromide profiles of the Rot Salt. Triassic of northern Europe, as evidence of its marine origin. *Neues Jahrb. Miner. Mh.*, 6, 267-276.
- KIJEWSKI P., SALSKI W., 1978. Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowozachodniej części monokliny przedsudeckiej. *Geol. Sudetica* t. 13, nr 1, Wrocław.
- SZYBIST A., 1978. Złoże solne w Lubińsko-Głogowskim Okręgu Miedziowym. *Przegląd Geologiczny*, nr 10.
- SZYBIST A., 2011. Charakterystyka geologiczna i petrologiczna złoża solnego w LGOM. *Dok. Geol.*, Kraków.
- SZYBIST A., TOBOŁA T., 2012. Charakterystyka geologiczna budowy wewnętrznej pokładu soli kamiennej w obszarze objętym koncesją na rozpoznanie złoża soli kamiennej „Kazimierzów” na potrzeby sporządzenia PZZ „Bądzów”. *Dok. Geol.*, Kraków.
- TOMASSI-MORAWIEC H., 1990. Geochemia bromu w utworach najstarszej soli kamiennej w rejonie Zatoki Puckiej. *Biul. PIG.*, 272: 7-68.
- TOMASSI-MORAWIEC H., 2001. Brom i stront w najstarszej soli kamiennej (Na1) na wyniesieniu Łeby (na przykładzie otworu wiertniczego Orle ONZ-1). *Prz. Geol.*, vol. 49, nr 5: 384-388.
- TOMASSI-MORAWIEC H., CZAPOWSKI G., BORNEMANN O., SCHRAMM M., MISIEK G., 2009. Wzorcowe profile bromowe dla solnych utworów cechsztynu w Polsce. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi*, T. 25.
- VALYASHKO M.G., 1956. Geochemistry of bromine in the processes of salt deposition and the use of the bromine content as a genetic and prospecting criterion. *Geochemistry*, 6: 570-589.