

## Badania koncentracji bromu w solach kamiennych złoŜa bocheńskiego

Tomasz Tobiola\*

ZłoŜe badeńskiej soli kamiennej „Bochnia“ występuje u czoła nasunięcia fliszu karpackiego, ok. 30 km na wschód od Krakowa. W jego profilu litostratygraficznym wyróżnionych zostało 5 cyklotemów solnych przy czym jedynie w trzech występują sole kamienne. Utwory te wykazują bardzo duŜą róŜnorodnoœć wykształcenia pod względem struktur i tekstur skał. Wskazują one, podobnie jak obserwowane struktury sedymentacyjne na pierwotne ich pochodzenie.

Badania koncentracji bromu w solach kamiennych tego złoŜa dostarczają interesujących danych o warunkach sedymentacyjnych. Zaobserwowana niska zawartość tego pierwiastka wskazują, że skład chemiczny solanek, z których następowała krystalizacja soli odbiegał od przeciętnego składu wody morskiej. Ponadto duŜe wahania i brak wyraźnych tendencji jego koncentracji ku górze profilu poszczególnych kompleksów solnych świadczy, że sedymentacja soli miocenijskich odbywała się w odmiennych warunkach niŜ w przypadku wiêkszoœci formacji solonośnych. Na warunki te wywarło wpływ wiele czynników takich jak wielkość i rodzaj dopływów oraz charakter połączy z otwartym oceanem.

**Słowa kluczowe:** ewaporaty, geochemia, geologia złoŜ, zapadlisko przedkarpackie

---

Tomasz Tobiola — **Study of bromine contents in salt deposit of Bochnia (Badenian, southern Poland).** Prz. Geol., 48: 688–693 .

*S u m m a r y.* Badenian salt deposit "Bochnia" is situated in the front of the Carpathian overthrust, about 30 km east of Kraków. Its lithostratigraphic profile has been subdivided into five cyclothems and only three of them contain salts. Structures and textures of these salts display great diversity. Their sedimentary structures indicate primary origin of salts.

Examination of bromine concentration in Badenian salt rocks of Bochnia deposit supply important data on conditons of sedimentation. Low contents of bromine indicate that chemical composition of brine is different than average chemical composition of marine water. Furthermore big oscillations and lack of distinct increasing tendency of bromine contents upward profile of each such a salt member indicate that sedimentation of salts took place in different conditions than it is common within most of salt formations. These conditions were influenced by such factors as a magnitude and kind of inflows, as well as the connection with open sea.

**Key words:** evaporites, geochemistry, geology of deposits, Carpathian foredeep

---

\*Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, Akademia Górniczo-Hutnicza, al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

Złoże soli kamiennej w Bochni, podobnie jak złoże wielickie jest eksploatowane od drugiej połowy XIII w. Pierwsze próby wyjaśnienia jego budowy geologicznej zostały przedstawione w pracach Kuhla (1930, 1932) oraz Windakiewicza (1926–1930). Dalsze badania złoży prowadził Poborski w okresie drugiej wojny światowej i po jej zakończeniu. Ich wynikiem była praca (Poborski, 1952), w której szczegółowo omówione zostały zagadnienia związane z tektoniką zewnętrzną i wewnętrzną złoży oraz przedstawiono profil litostratygraficzny wraz z opisem kompleksów solnych.

Pierwsze badania geochemiczne soli kamiennych złoży bocheńskiego objęły (Kusto, 1931) oznaczenia zawartości głównych pierwiastków, tj. Ca, Mg, Na, K, Cl, SO<sub>4</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> w poszczególnych kompleksach solnych oraz w utworach wtórnych. Po II wojnie światowej badania te kontynuowali Garlicki i Wali (1983) oraz Bukowski (1997).

W ostatnim okresie przeprowadzono badania inkluzji ciekłych w solach kamiennych (Galamay i in., 1997; Kowalewicz, 1997; Kovalevich & Petrichenko, 1997; Veigas i in., 1997), przyczyniające się w znacznym stopniu do poznania genezy solanek oraz warunków sedymentacji soli.

### Metodyka badań

Z kompleksów solnych złoży bocheńskiego łącznie pobrano 54 próbki. Opróbowanie to przeprowadzono w miarę możliwości w równych odstępach, uwzględniając przy tym zmienność petrologiczną soli kamiennych. Trwającą od kilku lat likwidacja wyrobisk górniczych, powoduje brak chodników z pełnym profilem stratygraficznym serii solnej. Dlatego też opróbowanie przeprowadzono w trzech wyrobiskach, tj. poprzeczni „Tesch“ i komorze „Stajnia“ na poziomie V „Podmoście“ oraz chodniku obciążeniowym szybika „Tesch“ na poziomie C1 „August“. Pozwoliło to na odtworzenie pełnego profilu złoży. Dodatkowo w kilku punktach kopalni pobrano również 7 próbek z utworów żyłowych, tj. soli włóknistych. Pobrane próbki opracowano petrologicznie oraz oznaczono jon Cl metodą argentometryczną, brom zaś wraz z szeregiem innych pierwiastków metodą ICP z błędem oznaczania wynoszącym 0,5 ppm.

### Zarys budowy geologicznej złoży

Złoże soli kamiennej „Bochnia“ jest położone u brzegu nasunięcia fliszu karpackiego w strefie miocenu sfałdowanego (ryc. 1). W przekroju południe–północ przez okolice Bochni (ryc. 2) seria solna występuje w dwóch fałdach o jądrach zbudowanych z fliszu karpackiego (Poborski, 1952). W antyklinie południowej, zwanej „Uzborni“, seria ewaporatów jest wykształcona w facji siarczanowej. W fałdzie północnym, tj. „bocheńskim“ występują sole kamienne. Za złoże soli kamiennych jest uznawane północne skrzydło antykliny bocheńskiej, gdzie głównie w wyniku tektonicznego wzbogacenia ewaporaty wykazują największą miąższość. W górnej części, do głębokości ok. 200 m, jest ono wąskie i ustawione niemal pionowo. Poniżej stopniowo rozszerza się i zapada pod kątem 30–40° na południe, gdzie na głęb. 300–400 m osiąga największą szerokość (ryc. 2).

W planie poziomym złoże rozciąga się w kierunku W–E osiagając szerokość ok. 200 m i długość ok. 3,5 km. W kie-



Ryc. 1. Zasięg i strefy facjalne badeńskich ewaporatów w zapadisku przedkarpackim (wg Garlickiego, 1979)

Fig. 1. Distribution and facies zones of the Badenian evaporites in Carpathian foreland (after Garlicki, 1979)

runku wschodnim wyklinowuje się, natomiast ku zachodowi przechodzi w złoże Siedlec–Moszczenica.

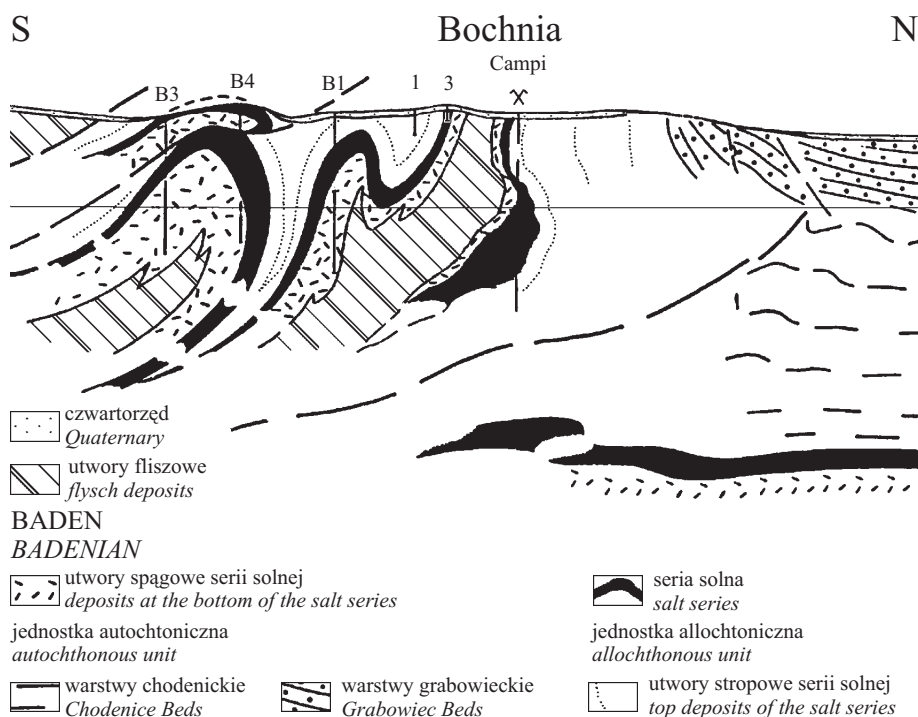
Tektonika wewnętrzna złoży jest bardzo skomplikowana, warstwy solne są silnie zafałdowane i ściśnięte tworząc system fałdów wąskopromiennych o osiach ułożonych przeważnie równoległe do rozciągłości złoży. Często są obserwowane również wyciśnięcia warstw solnych lub ich zrozerwania tak, że poszczególne kompleksy solne pierwotnie rozdzielone przerostami płonnymi, mogą bezpośrednio kontaktować ze sobą. Stąd też pierwotna miąższość utworów solnych jest zmieniona, co w znacznym stopniu utrudniało ustalenie profilu litostratygraficznego złoży.

W obrębie profilu litostratygraficznego złoży wydzielonych zostało pięć cyklotemów solnych, z których trzy zawierają sole kamienne (Garlicki, 1979; Poborski, 1952). Są to sole południowe, środkowe i północne, a ich nazwy pochodzą od lokalizacji w złoży. Dwa najniższe cyklotemy, dla ułatwienia korelacji z obszarami sąsiednimi, zostały połączone w jedno wydzielenie (Garlicki, 1979). Ostatni, piąty cyklotem jest niepełny i wykształcony w facji siarczanowej.

W profilu litostratygraficznym złoży bocheńskiego wyróżniają się dwa typy utworów, których brak w sąsiednich złożach, tj. Łęzkowicach i Siedlcu–Moszczenicy (Garlicki, 1970, 1971; Szybist & Tobała, 1995) oraz w miocenie autochtonicznym położonym na północ od złoży bocheńskiego (Garlicki, 1968, 1979). Są to utwory zuberowe, wydzielone przez Poborskiego (1952) jako zuber dolny i zuber górny. Pozostałe kompleksy solne pod względem petrologicznym podobnie są wykształcone, jak w sąsiednich złożach soli kamiennych (Garlicki, 1970, 1971; Poborski, 1952; Szybist & Tobała, 1995; Tobała, 1996).

### Rozkład bromu w profilu litostratygraficznym złoży

Rozkład bromu oraz współczynnika bromochlorowego w profilu litostratygraficznym złoży bocheńskiego został



Ryc. 2. Przekrój przez okolice Bochni (wg Garlicki, 1968)  
Fig. 2. Geological cross-section through Bochnia vicinity (after Garlicki, 1968)

przedstawiony na ryc. 3. W analizowanym profilu zawartości bromu zmieniają się w granicach od 11 do 130 ppm, przy czym dla większości próbek wynosi ona od kilkunastu do trzydziestu ppm. Duży jego udział zaobserwowano jedynie w trzech próbkach. Reprezentują one zuber dolny oraz typowo wykształcone utwory zuberu górnego. Najwyższą zawartość tego pierwiastka stwierdzono w górnej części soli środkowych dla próbki pobranej z warstwy soli pasiastych stosunkowo silnie zanieczyszczonych substancją ilastą i anhydrytem. Obliczone wartości współczynnika bromochlorowego są przeważnie bardzo małe, wahając się w granicach od ok. 0,02 do 0,06 i wyraźnie korelują się z zawartością bromu w próbkach (ryc. 3).

W dolnej części profilu złoża bocheńskiego tj. utworów zuberu dolnego i soli południowych, jest widoczna wyraźna tendencja spadkowa zawartości bromu ku górze profilu: od 72 ppm w typowo wykształconych utworach zuberu dolnego do 14 ppm w solach południowych (ryc. 3). Jedynie w najwyższej części profilu zaznacza się nieznaczna tendencja wzrostowa. Podobnie przedstawia się rozkład dla współczynnika bromochlorowego. Należy go jednak potraktować z dużą ostrożnością, gdyż w próbkach znaczna część bromu może być związana w większym stopniu z minerałami ilastymi niż z halitem.

Podobna sytuacja występuje w zubrze górnym. Próbką o najwyższej koncentracji bromu (93 ppm) i wartości współczynnika bromochlorowego (0,2981) reprezentuje typowo wykształcone utwory zuberu górnego mające 45,05% części nierozpuszczalnych w wodzie. Znacznie niższą koncentrację bromu (18 ppm) stwierdzono w próbce reprezentującej duże, czyste kryształy halitu tkwiące w masie ilastej z gronami anhydrytu. W porównaniu z powyżej przedstawioną, próbka ta charakteryzuje się znacznie niższą zawartością substancji nierozpuszczalnych w wodzie (10,32%). Nieco wyższą koncentrację bromu (26 ppm) stwierdzono w próbce reprezentującej bryłę kremowoszarej soli kamiennej, tkwiącą w masie zuberu górnego.

Po jednej próbce pobrano z dolnej i górnej warstwy soli kryształowych występujących w kompleksie łupków ilowo-anhydrytowych. Porównując otrzymaną zawartość bromu dla obu warstw z odpowiadającą im koncentracją tego pierwiastka w solach kryształowych złoża Siedlec–Moszczenica jest widoczne bardzo duże podobieństwo (Toboła, 1999). Dla górnych warstw obu złóż (bocheńskiego i Siedlec–Moszczenica) otrzymano identyczne wartości, tj. 25 ppm Br. W przypadku dolnej warstwy zawartość bromu jest nieznacznie niższa od przeciętnej wartości dla odpowiadającej jej warstwie w złożu Siedlec–Moszczenica.

W solach środkowych koncentracja bromu waha się na ogół w granicach od 15 ppm do 31 ppm. Jedynie w dwóch przypadkach stwierdzono podwyższoną zawartość, wynoszącą 47 ppm i 130 ppm (ryc. 3). Współczynnik bromochlorowy zmienia się w szerokim przedziale od 0,0253 do 0,0624, przy czym wyraźnie od tego przedziału odbiegają wartości dla próbek charakteryzujących się wyższą koncentracją bromu.

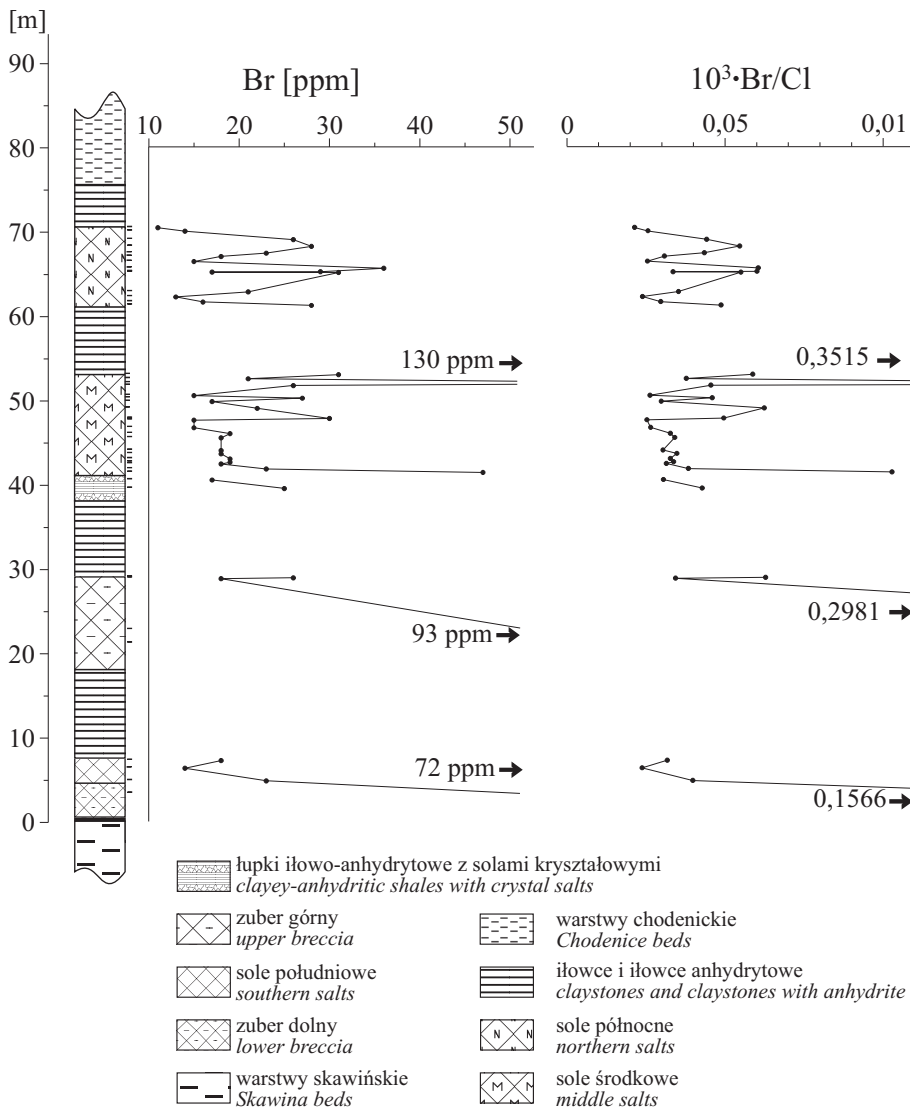
Średnia koncentracja bromu w całym kompleksie soli środkowych wynosi 26,48 ppm, natomiast wartość współczynnika bromochlorowego — 0,0521. Większość próbek cechuje niższa od średniej wartość dla obu parametrów o czym świadczą znacznie niższe wartości median (tab. 1). Sole te charakteryzuje również wysoka wartość odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności (tab. 1). Na wartości tych parametrów statystycznych wywarły wpływ przede wszystkim próbki odznaczające się znacznie wyższymi ponad przeciętną wartościami koncentracji bromu i współczynnika zmienności.

Kompleks soli środkowych w oparciu o rozkład bromu i wartość współczynnika bromochlorowego podzielić można na dwie części (ryc. 3). Dolna część charakteryzuje się dużą koncentracją bromu w spągu. Ku górze profilu obserwuje się gwałtowny spadek i następnie utrzymanie się koncentracji bromu na poziomie kilkunastu ppm. Podobnie przebiega rozkład wartości współczynnika bromochlorowego.

Tab. 1. Zestawienie wybranych parametrów statystycznych koncentracji bromu w solach kamiennych i włóknistych złoża bocheńskiego

|                 | Średnia | Mediana | O.S.  | W.Z. |
|-----------------|---------|---------|-------|------|
| Sole północne   | 21,73   | 21,00   | 7,33  | 0,34 |
| Sole środkowe   | 26,48   | 22,00   | 20,67 | 0,78 |
| Zuber górny     | 45,67   | 26,00   | 33,63 | 0,74 |
| Sole południowe | 18,33   | 18,00   | 3,68  | 0,20 |
| Sole włókniste  | 20,14   | 18,00   | 6,66  | 0,33 |

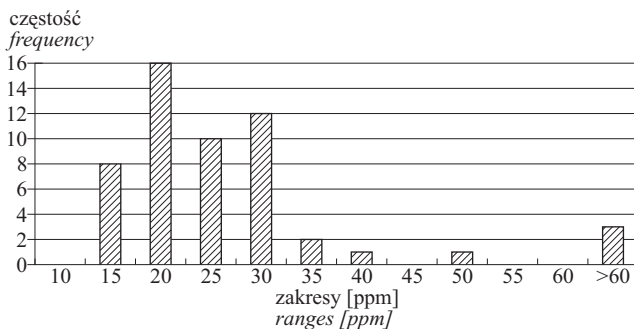
O.S. — odchylenie standardowe, W.Z. — współczynnik zmienności



Ryc. 3. Rozmieszczenie udziału Br i wartości współczynnika bromochlorowego w profilu złoża bocheńskiego

Fig. 3. Distribution of bromine and bromine-chlorine ratio in profile of salt deposit Bochnia

Górną część profilu soli środkowych cechują duże wahania koncentracji bromu oraz wartość współczynnika bromochlorowego (ryc. 3). Na tym odcinku profilu zaznacza się jednak słabo zarysowująca się tendencja wzrostowa obu parametrów.



Ryc. 4. Histogram rozkładu bromu w solach kamiennych złoża bocheńskiego

Fig. 4. Histogram of bromine distribution in salts of Bochnia deposit

W solach północnych koncentracja bromu waha się w granicach od 11 ppm do 36 ppm, przy średniej wartości — 21,73 ppm. Współczynnik bromochlorowy przyjmuje wartość z przedziału 0,0214–0,0605, uzyskując średnią 0,0395. W obu przypadkach średnie wartości pokrywają się z medianą. W porównaniu z solami środkowymi, sole północne mają znacznie mniejsze wartości odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności (tab. 1).

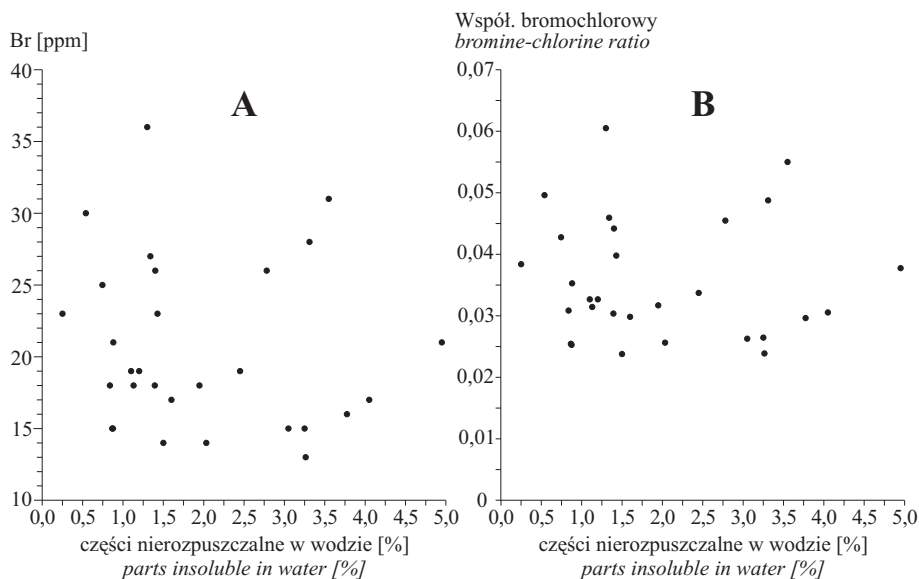
W profilu pionowym kompleksu soli północnych rozkład zawartości bromu i wartości współczynnika bromochlorowego charakteryzują stosunkowo wyraźne trendy. W spągu i stopie kompleksu, zarówno koncentracja bromu, jak i wartość współczynnika bromochlorowego wykazują tendencje spadkowe. W środkowej części kompleksu natomiast są widoczne dwa okresy wzrostu zawartości bromu oddzielone stosunkowo gwałtownym spadkiem.

### Interpretacja wyników

Przedstawione powyżej wyniki badań koncentracji bromu w utworach ewaporatowych są zgodne z obserwacjami Bukowskiego (1997), pomimo różnic w przyjętych metodach analiz chemicznych. Również stwierdzono bardzo niską koncentrację tego pierwiastka, a ponadto niską wartość współczynnika bromochlorowego. W świetle badań nad udziałem bromu w procesie ewaporacji wody morskiej (m.in. Walaszko, 1956; Holser, 1979) otrzymane wartości współczynnika bromochlorowego i koncentracji bromu wskazywałyby na częściowo wtórne pochodzenia solanek. Jak wykazały te badania, halit krystalizujący bezpośrednio ze stężonej w wyniku ewaporacji wody morskiej zawiera powyżej 60 ppm Br, a współczynnik bromochlorowy wynosi powyżej 0,1. Wśród soli kamiennych złoża bocheńskiego jedynie w trzech próbkach odnotowano wartości z tego przedziału. Jednak obserwowane struktury i tekstury skał solnych nie wskazują na epigenetyczny charakter skał (m.in. Garlicki, 1968, 1979; Poborski, 1952). Spośród licznej grupy tekstur, powszechnie spotykane wśród bocheńskich soli kamiennych są takie tekstury jak pasiasta czy warstwowa. Świadczą one raczej o normalnej sedimentacji z rytмами klimatycznymi np. rocznymi.

Inną charakterystyczną cechą są duże wahania koncentracji bromu (ryc. 3), podkreślone dużymi wartościami odchylenia standardowego oraz współczynnika zmienności (tab. 1). Nawet w próbkach pobranych z bezpośrednio sąsied-





**Ryc. 5.** Wykres zależności koncentracji bromu i wartości współczynnika bromochlorowego od zawartości części nierozpuszczalnych w wodzie (dla przedziału 0–5%)

**Fig. 5.** Diagram of bromine contents and bromine-chlorine ratio versus contents of parts insoluble in water (for range 0–5%)

dujących warstw często obserwuje się ekstremalne zawartości tego pierwiastka, co wskazuje na bardzo gwałtowne zmiany jego stężenia w roztworze. Zmiany te mogły być spowodowane gwałtownymi dopływami słodkich wód lądowych. Świadczy o tym również zmienność wykształcenia utworów w profilu litologicznym złoże, gdzie warstwy soli czystych lub w niewielkim stopniu zanieczyszczonych materiałem terygenicznym o miąższości kilkudziesięciu centymetrów są poprzedzielane warstwami iłowców, iłowców anhydrytowych lub soli zubrowatych.

Bocheńskie sole kamienne wyróżnia spośród wielu formacji solonośnych (m.in. Dean, 1978; Dean & Anderson, 1974; Dean & Tung, 1974; Hite, 1974; Holser, 1979; Kühn, 1968; Raup & Hite, 1978) również rozkład bromu i współczynnika bromochlorowego w profilu litostratygraficznym złoże. W żadnym z kompleksów solnych nie stwierdzono wyraźnych trendów wzrostu koncentracji bromu ku górze profilu. Przemawia to za utrzymywaniem się średniego stężenia solanek na przeważnie niskim poziomie aż do końcowego etapu krystalizacji w każdym z kompleksów solnych.

Koncentracja bromu w analizowanych próbkach soli kamiennych wykazuje w pewnym przedziale zależność od zawartości części nierozpuszczalnych w wodzie, głównie

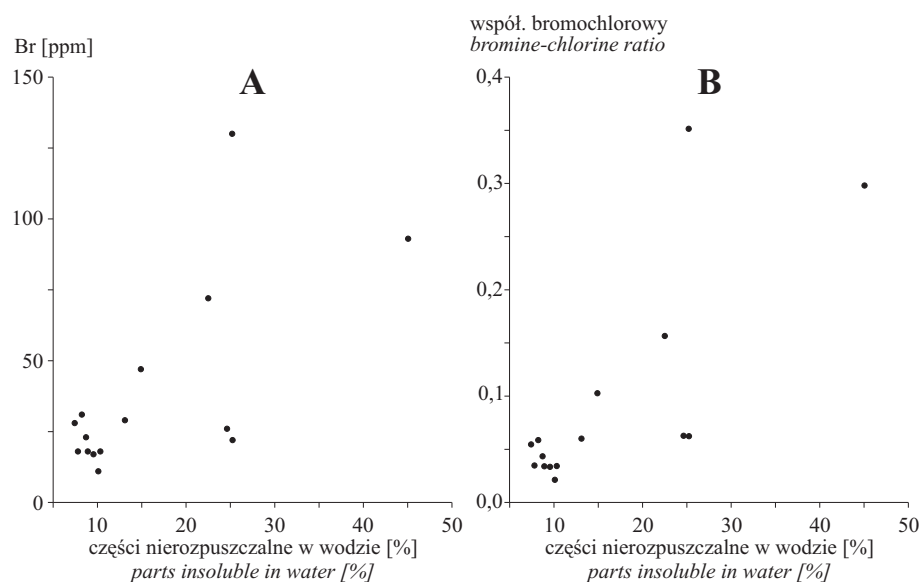
Zależność ta wyraźniej zaznacza się dla soli zailonych i zubrów (ryc. 6a, b), gdzie zarówno w przypadku bromu, jak i współczynnika bromochlorowego przyjmuje ona charakter w przybliżeniu liniowy. W tym przedziale jedynie dwie próbki wykazują znaczące odchylenia od tego przebiegu. Jedna z nich została pobrana z bryły soli barwy kremowoszarej tkwiącej w utworach zubru górnego. Sól ta makroskopowo przypomina sole dolomityczne znane z bryłowej części złoże wielickiego. Wyraźnie wyróżniają się one również pod względem zawartości innych oznaczonych pierwiastków, natomiast koncentracja bromu i wartości współczynnika bromochlorowego pokrywają się z wynikami otrzymanymi dla soli dolomitycznych w złoże wielickim (Toboła, 1999). Druga próbka została pobrana z kompleksu soli środkowych. W porównaniu z utworami o zbliżonej zawartości części nierozpuszczalnych w wodzie wyróżnia się ona zawartością niektórych oznaczonych pierwiastków, pomimo że makroskopowo nie zaobserwowano specyficznych cech (Toboła, 1999).

Z powyżej przedstawionych zależności wynika, że w przypadku niewielkiego udziału w skale solnej minerałów ilastych, brom jest związany przede wszystkim z halitem zastępując w nim jon Cl<sup>-</sup>. Jego zmienność zatem uzależniona jest od parametrów fizykochemicznych krystalizacji, tzn. stężenia w roztworze, temperatury krystalizacji itp. Przy większym udziale minerałów ilastych ich wpływ na zawartość bromu w próbkach skał zaczyna odgrywać

←

**Ryc. 6.** Wykres zależności koncentracji bromu i wartości współczynnika bromochlorowego od części nierozpuszczalnych w wodzie (dla przedziału >5%)

**Fig. 6.** Diagram of bromine contents and bromine-chlorine ratio versus contents of parts insoluble in water (for range >5%)



znaczącą rolę co jest związane najprawdopodobniej z absorpcyjnymi właściwościami minerałów ilastych mogących wychwytywać brom z roztworu. Tego typu procesy mogły także w pewnym stopniu wpływać na deficyt bromu w solankach, tzn. po okresie zwiększonej dostawy materiału terygenicznego, wolno opadające na dno zbiornika minerały ilaste wychwytywały część bromu z roztworu. W dalszej kolejności krystalizacja halitu następowała ze znacznie zubożonego w brom roztworu, dając w ten sposób niższe niż wynika z modeli ewaporacji koncentracje bromu w solach kamiennych. Hipoteza ta wymaga jednak dalszych badań laboratoryjnych.

Występujące w złożu bocheńskim typowe utwory epigenetyczne, tj. sole włókniste nie wykazują wyraźnie niższych koncentracji bromu niż w solach pierwotnych. Zmienność zawartości bromu w tych utworach jest również stosunkowo duża i waha się w granicach od 12 do 33 ppm. Obliczona średnia zawartość tego pierwiastka jest jednak niewiele niższa niż dla soli środkowych i północnych, a wyższa niż w czystych odmianach soli południowych (tab. 1). Interpretacja względnie wysokich koncentracji bromu w tych utworach w stosunku do soli pierwotnych jest trudna do przeprowadzenia. Zdaniem autora najbardziej prawdopodobnym zjawiskiem, które odegrało tu decydującą rolę były procesy migracji bromu wraz z wolno przemieszczającą się solanką uwieczoną pierwotnie w kapilarach skał ilastych i iłowo-solnych. Przemawiał by za tym fakt, że sole włókniste występują głównie w szczelinach powstałych tektonicznie w tego rodzaju utworach.

### Wnioski końcowe

Przedstawione wyniki badań dowodzą, iż krystalizacja podstawowej masy soli kamiennych złoża bocheńskiego następowała z wody morskiej, różniącej się jednak pod względem składu chemicznego i proporcji poszczególnych jonów od wód oceanicznych. Zmiany te mogły być spowodowane przez dopływy solanek pochodzących z rozpuszczenia starszych formacji solonośnych. Solanki o takim pochodzeniu są na ogół zubożone w brom. Z tego względu zapewne morze badeńskie w zapadlisku przedkarpackim charakteryzowało się niższą koncentracją bromu. Na odmienny skład chemiczny wskazują również badania inkluzji ciekłych w halicie (Galamay i in., 1997; Kowalewicz, 1994, 1997; Kovalevich & Petrichenko, 1997; Veigas i in., 1997).

Dodatkowy wpływ wywierały także dopływy słodkich wód lądowych znoszące znaczną ilość materiału terygenicznego. Miały one zapewne charakter okresowych gwałtownych wtargnięć, co przy stosunkowo niewielkiej objętości solanek powodowało duże wahania bromu.

Na podstawie rozkładu zawartości bromu w profilu serii solnej, należy stwierdzić, że stężenie solanek podczas krystalizacji soli kamiennych przeważnie utrzymywało się na niskim poziomie do końcowych aktów w każdym z cyklotemów solnych. Wywarły na to wpływ przede wszystkim dopływy wód słodkich lub o niepełnym zasoleniu oraz istnienie połączeń z otwartym oceanem dzięki którym dochodziło do wymiany wód.

Badania powyższe przeprowadzono w ramach prac własnych finansowanych przez KBN umowa nr 10.10.140.152.

### Literatura

- BUKOWSKI K. 1997 — Zawartość bromu w solach kamiennych Bochni. *Prz. Geol.*, 45: 819–821.
- DEAN W. E. 1978 — Trace and Minor Elements in Evaporites. [W:] *Marine Evaporites. Short Course No. 4*, April 8, 1978: 86–104.
- DEAN W. E. & ANDERSON R. Y. 1974 — Trace and Minor Elements Variations in the Permian Castile Formation, Delevare Basin, Texas and New Mexico, Revealed by Varve Calibration. [W:] A. H. Coogan (ed.), *Fourth Symposium on Salt. Northern Ohio, Geol. Soc., Cleveland*, 1: 275–286.
- DEAN W. E. & TUNG A. L. 1974 — Trace and minor elements variations in anhydrite and halite, supai formation (permian), east — Central Arizona. [W:] A. H. Coogan (ed.), *Fourth Symposium on Salt. Northern Ohio, Geol. Soc., Cleveland*, 1: 287–301.
- GALAMAY A. R., BUKOWSKI K. & PRZYBYŁO J. 1997 — Chemical composition and origin of brines in the badenian evaporite basin of the Carpathian Foredeep: fluid inclusion data from Wieliczka (Poland). *Slovak Geol. Mag.*, 3: 165–171.
- GARLICKI A. 1968 — Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpacia między Skawiną a Tarnowem. *Biul. Inst. Geol.*, 215: 5–78.
- GARLICKI A. 1970 — Złoże soli kamiennej Moszczenica–Łapczyca na zachód od Bochni. *Kwart. Geol.*, 14: 350–360.
- GARLICKI A. 1971 — Złoże soli kamiennej w Łęzkowicach nad Rabą. *Kwart. Geol.*, 15: 930–946.
- GARLICKI A. 1979 — Sedymentacja soli miocenijskich w Polsce. *Pr. Geol. PAN*, 119: 1–67.
- GARLICKI A. & WALI A. M. A. 1983 — Geochemical Characteristics of the Bochnia Evaporites Member, with New Aspects in Br/Cl Ratio Determination. *Miner. Pol.*, 12: 25–47.
- HITE R. J. 1974 — Evaporite Deposits of the Khorat Plateau, Northeastern Thailand. [W:] A. H. Coogan (ed.), *Fourth Symposium on Salt. Northern Ohio, Geol. Soc., Cleveland*, 1: 135–146.
- HOLSER W. T. 1979 — Trace elements and isotopes in evaporites. [W:] *Marine minerals. Short Course Notes. Miner. Soc. Amer.*, 6, November 1979.
- KOVALEVICH V. M. & PETRICHENKO O. I. 1997 — Chemical composition of brines in Miocene evaporite basins of the Carpathian region. *Slovak Geol. Mag.*, 3: 173–180.
- KOWALEWICZ W. M. 1994 — Warunki powstania soli miocenijskich ukraińskiego Przedkarpacia w świetle badań inkluzji. *Prz. Geol.*, 42: 738–743.
- KOWALEWICZ V. M. 1997 — Inkluzje fluidalne w soli kamiennej z Bochni. *Prz. Geol.*, 45: 822–825.
- KUHL J. 1930 — Sprawozdanie z badań geologiczno-petrograficznych kopalni soli w Bochni, wykonanych w r. 1929. *Pos. Nauk. Państw. Inst. Geol.*, 26: 15–19.
- KUHL J. 1932 — Zarys budowy geologicznej złóż soli kamiennej w Bochni i Wieliczce. *Prz. Gór.-Hutn.*, 24: 514–516.
- KUSTO B. 1931 — Z petrografi soli kamiennej w Bochni. *Rocz. Pol. Tow. Geol.*, 7: 332–354.
- KÜHN R. 1968 — Geochemistry of German potash deposits. [W:] *Saline Deposits. Geol. Soc. Amer., INC. Spec. Pap.*, 88: 427–504.
- POBORSKI J. 1952 — Złoże solne Bochni na tle geologicznym okolicy. *Biul. Inst. Geol.*, 78: 1–160.
- RAUP O. B. & HITE R. J. 1978 — Bromine Distribution in Marine Halite Rocks. In: *Marine Evaporites. Short Course No. 4*, April 8, 1978: 105–123.
- SZYBIST A. & TOBOŁA T. 1995 — Budowa geologiczna złoża soli kamiennej Siedlec–Moszczenica w świetle nowych danych. *Prz. Geol.*, 43: 682–686.
- TOBOŁA T. 1996 — Występowanie łupków iłowo-anhydritowych z solami kryształowymi w złożu Siedlec–Moszczenica. *Prz. Geol.*, 44: 1138–1141.
- TOBOŁA T. 1999 — Petrologiczna i geochemiczna charakterystyka soli miocenijskich w Polsce. *Masz. Arch. Zakł. Złóż Rud i Soli AGH*.
- VEIGAS J. G., ROSSEL L. & GARLICKI A. 1997 — Petrology and geochemistry (fluid inclusions) of Miocene halite rock salts (Badenian, Poland). *Slovak Geol. Mag.*, 3: 181–186.
- WALASZKO M. G. 1956 — Geochimija broma w procesach galogeneza i ispolzowanie sodierzaniya broma w kaczestwie gienieticzeskogo i poiskogo kriterija. *Gieochimija*, 6: 33–48.
- WINDAKIEWICZ E. 1926–1930 — Solnictwo. Cz. I–IV. *Skład Główny w Księgarni Jagiellońskiej, Kraków*.