

Krzysztof BUKOWSKI<sup>1</sup>

## PORÓWNANIE BADEŃSKIEJ SERII SOŁONOŚNEJ Z WIELICZKI I BOCHNI W ŚWIEŁLE NOWYCH DANYCH

(z 4 fig., 3 tabl.)

*Abstrakt.* W złożach soli kamiennej w Wieliczce i w Bochni obserwuje się wyraźną odmienność wykształcenia osadów terygeniczných i soli kamienných spowodowaną m.in. odmiennymi warunkami sedymentacji i różnym natężeniem procesów tektonicznych. W obu kopalniach stwierdzono występowanie cienkich wkładek tuffitowych, które dobrze się korelują i zawierają materiał piroklastyczny z nie przeobrażonymi pierwotnymi minerałami. Położenie tych wkładek pozwala z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić ciągłość sedymentacji chemicznej w rejonie Wieliczka–Bochnia. Solom najstarszym w Wieliczce odpowiadają sole południowe w Bochni, sole zielone pokładowe mają swój odpowiednik w solach kryształowych, sól szybikowa i dolna część soli spizowych mają swój odpowiednik w solach

środkowych, sole spizowe górne odpowiadają solom północnym kończącym serię solną w Bochni.

Z próbek hornblendy pochodzącej z tufitu amfibolowego występującego tuż poniżej serii ewaporatowej w Wieliczce wykonano kilka oznaczeń wieku radiometrycznego metodą K/Ar i Ar/Ar, stwierdzając dwie generacje amfiboli (ok. 18 i ok. 12,5 Ma) w materiale piroklastycznym.

Zawartość bromu w solach w Wieliczce i Bochni jest stosunkowo mała. Skład chemiczny solanek z inkluzji w kryształach soli, jak również zawartość izotopów siarki  $\delta^{34}\text{S}$  i tlenu  $\delta^{18}\text{O}$  w anhydrytach występujących w obydwu złożach jest podobny.

*Słowa kluczowe:* sól kamienna, osady piroklastyczne, wiek radiometryczny, zapadlisko przedkarpacie.

### WSTĘP

Badeńska seria solonośna zapadliska przedkarpaciego od dawna była przedmiotem zainteresowań geologów. Powstało szereg szczegółowych opracowań dotyczących budowy geologicznej poszczególnych złóż soli na Podkarpaciu (m.in. Poborski, 1952; Gawęł, 1962; Garlicki, 1970, 1971). Badaniami objęto całą strefę zapadliska przedkarpaciego, starając się prześledzić związek regionalnej budowy geologicznej ze strefą sedymentacji ewaporatów (Garlicki, 1968, 1979; Ney, 1968; Kwiatkowski, 1972; Ney i in., 1974). Przedsiębiorstwa zajmujące się poszukiwaniami gazu i ropy naftowej były zainteresowane szczegółowym rozpoznaniem

zasięgu i głębokości występowania ewaporatów jako bardzo dobrego poziomu korelacyjnego (m. in. Ołtuszyk, 1967; Karnkowski, Ołtuszyk, 1968; Olewicz, 1968). W ostatnich latach prowadzono badania nad odtworzeniem środowiska i stworzeniem modelu basenu sedymentacyjnego dla całego obszaru zapadliska przedkarpaciego (m.in. Peryt i in., 1994; Peryt, 1996; Oszczyk, 1996; Petrichenko i in., 1997).

Profile litostratygraficzne złóż soli kamiennej w Wieliczce i w Bochni opracowano oddzielnie, stosując różne nazwy dla poszczególnych wydziałów serii solnej (Poborski, 1952; Gawęł, 1962). W złożach tych obserwuje się wyraźną od-

<sup>1</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków.

mienność wykształcenia osadów terygenicznych i soli kamiennych, spowodowaną m.in. warunkami sedimentacji i różnym natężeniem procesów tektonicznych.

Celem niniejszej pracy jest porównanie serii solonośnej tych dwóch historycznych złóż soli kamiennej.

## ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ

Pierwszy basen ewaporatowy na obszarze zapadliska przedkarpackiego utworzył się w dolnym miocenie (eggenburg), a solonośne i siarczanowe osady tego basenu określane są jako seria (suity) worotyjszczeńska. Utwory tej serii są szeroko rozprzestrzenione na terenie Ukrainy i tworzą złoża soli kamiennych i potasowych (np. złożo w Stebniku). W polskiej części zapadliska przedkarpackiego osady serii worotyjszczeńskiej stwierdzono jedynie na niewielkim obszarze położonym na południe od Przemyśla. Występują tam ility zubrowo-solne z gniazdami soli oraz licznymi przewartwieniami skał klastycznych (Ney, 1968; Garlicki, 1979).

Główna seria solonośna na obszarze Polski utworzyła się w badenie i objęła swym zasięgiem obszar od Górnego Śląska na zachodzie po wschodnią granicę kraju. Odpowiednikiem tej serii osadów chemicznych we wschodniej części zapadliska na obszarze Ukrainy jest seria (suity) tiraska wykształcona w postaci soli kamiennych z wtrąceniami soli potasowo-magnezowych, anhydrytów i gipsów (Garlicki, 1979; Petryczenko i in., 1994).

Ewaporaty badeńskie ze względu na swoją odmienną litologiczną i występowanie tworzą główny poziom korelacyjny w zapadlisku przedkarpackim. Są one rozwinięte w dwóch facjach: chlorkowej (sole kamienne, anhydryty, gipsy i ility — formacja z Wieliczki) i siarczanowej (gipsy, anhydryty, ility — formacja z Krzyżanowic). Facja siarczanowa, miąższości 10–30 m, występuje prawie na całym obszarze zapadliska. Nie stwierdzono osadów ewaporatowych na północ od Rzeszowa w obrębie tzw. wyspy rzeszowskiej oraz lokalnie na północ od Dębicy, Ropczyc oraz Brzeska.

W wąskiej strefie przykarpackiej ciągnącej się od Krakowa po Przemyśl oraz na Górnym Śląsku (niecka Rybnik–Żory–Orzesze) występują utwory facji chlorkowej. Ich miąższość niekiedy tylko przekracza 50 m, a wyjątkowo osiąga 100 m. Osady te występują zarówno w położeniu autochtonicznym, jak i allochtonicznym.

Procesy tektoniczne związane z przebudową górotworu karpackiego nadały dzisiejszy kształt osadom solnym na Podkarpaciu. W przegubach silnie spiętrzonych fałdów nastąpiło zwielokrotnienie pierwotnie niewielkiej miąższości pokładów soli. Równocześnie zostały one stromo spiętrzone i wydźwignięte ku powierzchni, co ułatwiło ich odkrycie i eksploatację. Strefa takich fałdów solnych ciągnie się od Wieliczki, poprzez złoża Podkarpacia Bocheńskiego, aż po okolice Pilzna. Dalej na wschód sole kamienne rozpoznane zostały znacznie słabiej, co wynika głównie z występowania badeńskiej serii solonośnej często poniżej 2000 m. Sole kamienne napotkano w profilach otworów wiertniczych na południe od Dębicy (otwór Stasiówka), na południe od Rzeszowa (m.in. otwory Raclawówka 1 i Tyczyn) oraz w

najbliższej okolicy Przemyśla, gdzie sól kamienna występuje w pozycji autochtonicznej (Garlicki, 1979).

Badeńskie złoża soli tworzyły się prawdopodobnie w najgłębszych częściach basenu ewaporacyjnego i w lokalnych przegłębieniach. Na ich powstanie miały wpływ podmorskie ruchy masowe, które znosiły materiał terygeniczny oraz ewaporaty (Kolasa, Ślącza, 1985; Ślącza, Kolasa, 1997). Najprawdopodobniej wcześniej osadzone sole znoszone były z płytszej (szelfowej) strefy w kierunku otwartego morza, gdzie w dennych wodach dochodziło do ich częściowego rozpuszczenia i ponownej krystalizacji.

Tego typu procesy powiązane z okresowymi zmianami poziomu morza i konfiguracji linii brzegowej miały charakter cykliczny. W obrębie sukcesji ewaporatowej badenu Podkarpacia wyróżniono 5 cykli sedimentacyjnych — cyklotemów (Garlicki, 1979). Osady I cyklu pojawiły się w najgłębszej części zbiornika, między Bochnią i Tarnowem, gdzie rozpoznano najniższy poziom soli kamiennych, np. w otworach Szczepanów S-1 i Bochnia E. Jednak dopiero w II cyklu sedimentacja soli kamiennych objęła cały obszar od Wieliczki po Tarnów oraz część basenu górnośląskiego (Rybnik–Żory–Orzesze). Główna seria złożowa tworzyła się w cyklach III i IV, gdy doszło do pełnego rozwoju facji chlorkowej i powstania pokładów soli kamiennych o największej miąższości (sól szybikowa i sole spizowe w Wieliczce, sole środkowe i sole północne w Bochni). Osady solne ostatniego, V cyklu znane są tylko z pojedynczych otworów wiertniczych (Szczepanów, Sierakowice). Na pozostałym obszarze ewaporaty występują już w facji siarczanowej (łupki ility-anhydrytowe).

**Złożo soli kamiennej w Wieliczce** (fig. 1) i przylegające do niego złożo w Baryczu rozciągają się równoleżnikowo wzdłuż linii nasunięcia Karpat na odcinku około 10 km. Na zachodzie, w okolicy Barycza i Soboniowic facja chlorkowo-siarczanowa wyklinowuje się i przechodzi w fację siarczanową. Na wschodzie złożo rozpoznane zostało do miejscowości Sułków. Szerokość złoża jest zmienna i wynosi na ogół od 800 do 900 m. Skomplikowana wewnętrzna budowa powoduje, iż złożo to cechuje zmienna miąższość: od kilkunastu do około 350 m w centralnej części złoża (Ślizowski, Saługa, 1996).

Serię złożową budują trzy podstawowe jednostki litostratygraficzne: warstwy skawińskie (podsolne), seria solna (warstwy wielickie) i warstwy chodenickie (nadsolne).

Warstwy skawińskie osadziły się w rejonie Wieliczki bezpośrednio na wapieniach górnej jury. Są to przede wszystkim ility margliste zawierające wkładki piaskowców i mułowców. W górnej części profilu następuje stopniowy wzrost udziału siarczanów i osady te w sposób ciągły przechodzą w warstwy z pokładami soli.

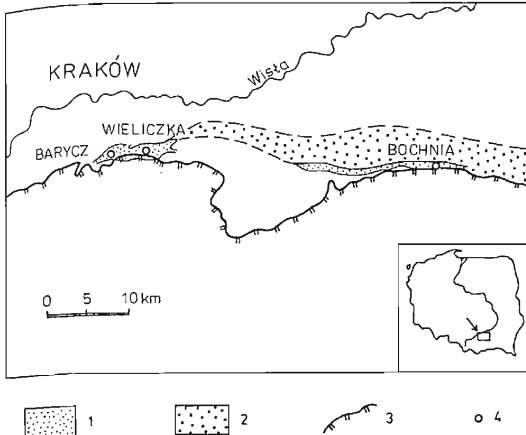


Fig. 1. Lokalizacja rejonu badań

1 — seria solonośna w miocenie sfałdowanym, 2 — seria solonośna w miocenie autochtonicznym, 3 — granica nasunięcia Karpat, 4 — miejsca próbowania

Location of the study area

1 — saliferous series in folded Miocene, 2 — saliferous series in autochthonous Miocene, 3 — Carpathian thrust front, 4 — sampling sites

Seria solna (fig. 2) charakteryzuje się dwudzielnością budowy wewnętrznej (Gawęł, 1962). Część górna (tzw. złoża bryłowe) leży niezgodnie na części dolnej (tzw. złożu pokładowym). W złożu bryłowym wielkość brył jest zmienna; dość często spotykane są bryły o objętości około 20 000 m<sup>3</sup>, niektóre osiągają 50 000 m<sup>3</sup>, a największa rozpoznana bryła posiada objętość ponad 100 000 m<sup>3</sup>. Sól bryłowa występuje najczęściej w postaci prostopadłościennych bloków o zaokrąglonych narożach; spotykane są również ostrokrawędziste bryły lub fragmenty soczew solnych. Bryły układają się zgodnie z generalnym kierunkiem zapadania złoża pokładowego. Najczęściej spotykane kąty upadu wynoszą od 45 do 75°. Wyróżnia się dwa typy litologiczne soli kamiennych:

— sól kamienna laminowana (tzw. sól zielona typowa), gruboziarnista, przewarstwiona kilkucentymetrowymi wkładkami białej soli drobnoziarnistej; są to sole bardzo czyste (o zawartości NaCl średnio ok. 95%) i były one przedmiotem poszukiwań od najdawniejszych czasów; występują w postaci izolowanych brył, które mogły tworzyć pierwotnie soczewkowaty pokład o miąższości około 20 m;

— sól wielokryształiczna (witrażowa), w której występują decymetrowej miąższości przerosły laminowanego ilowca z anhydrytem; ze względu na zanieczyszczenia ilaste (do kilkudziesięciu procent) sole te nie były eksploatowane.

Złożo pokładowe w odróżnieniu od złoża bryłowego zachowuje normalne następstwo stratygraficzne kolejnych warstw. Są to od spągu do stropu:

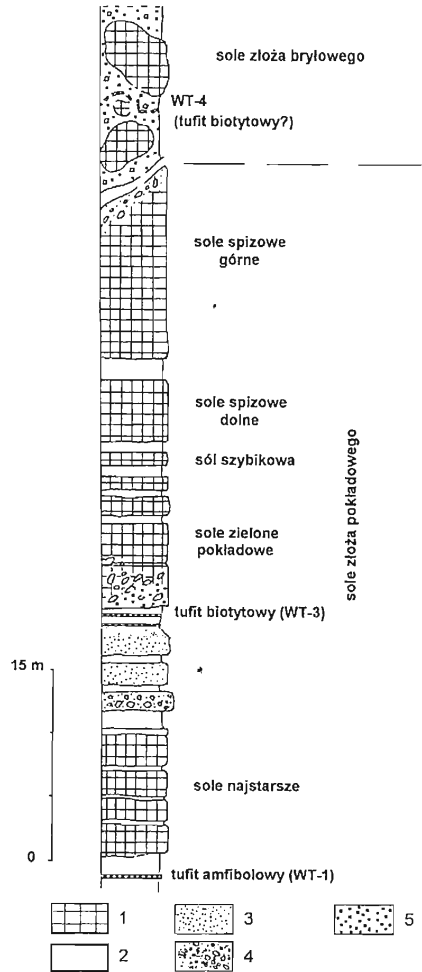


Fig. 2. Profil serii solnej w Wieliczce

1 — sole, 2 — ilowce z anhydrytem, 3 — piaskowce, 4 — zlepianie i brekcje solne, 5 — zuber

Lithological section of saliferous series in Wieliczka

1 — salts, 2 — claystones with anhydrite, 3 — sandstones, 4 — conglomerates and salt breccias, 5 — zuber

— warstwy spagowe (iłowce, mułowce i piaskowce z anhydrytem);

— sole najstarsze zbudowane z kilkunastu ławic soli drobno, średnio- i gruboziarnistej; zawartość NaCl 90–95%; miąższość tego kompleksu jest zmienna 2–20 m (średnio ok. 10 m);

— tzw. piaskowiec podsolny (piaskowce i mułowce) przechodzący w stropie w iłowce z anhydrytem; miąższość nie przekracza 10 m;

— zespół soli zielonej pokładowej złożony z 4 pokładów soli grubokrystalicznej, zailonej; średnia zawartość NaCl ok. 80%; rozdzielone warstwami iłowca z anhydrytem; łączna miąższość zespołu 10–12 m;

— pokład soli szybikowej zbudowany z soli średnio- i gruboziarnistej, charakteryzujący się największą stałością wśród serii solnej złoża w Wieliczce; jego miąższość waha się od 1,2 do 1,8 m, przy stałej zawartości NaCl ok. 98% i ciągłym występowaniu od Baryczy do Sułkowa; z powodu swej wyjątkowej czystości sól ta była szczególnie poszukiwana i obecnie jest prawie całkowicie wyeksploatowana;

— kompleks soli spizowych (tabl. I, fig. 1) charakteryzujący się największą miąższością 20–30 m; składa się najczęściej z soli drobnoziarnistej, szarej, zanieczyszczonej piaskiem anhydrytowym i wkładkami iłu; przedzielony kilkumetrowej miąższości przerostem iłowców i piaskowców z anhydrytem (tzw. przerostem centralnym) dzielącym sole spizowe na część dolną i górną; średnia zawartość NaCl ponad 90% (spotykane są odmiany bardzo czyste o zawartości NaCl około 98–99%, np. tzw. sól orłowa od znaku orła wybijanego na beczkach, do których ją pakowano i transportowano);

— piaskowce i iłowce anhydrytowe stropowe miąższości do kilku metrów.

Złoże pokładowe ma formę szeregu fałdów i łusek wykazujących zbliżone kąty nachylenia osi, wykazujących wyraźną asymetrię skrzydeł i zgodny, skierowany na północ kierunek nachylenia płaszczyzn osiowych. Między łuskami i wyciśniętymi z nich fałdami soli spizowej występują sole bryłowe z otulającymi je zubrami i ciemnoszarymi iłami.

**Złoże soli w Bochni** oddalone jest około 30 km na wschód od Krakowa (fig. 1). Rozciąga się równoleżnikowo na odcinku długości 3,5 km i szerokości od kilkudziesięciu do około 200 m. Ku wschodowi złoże wyklinowuje się, zanikając w okolicach wsi Łazy. Na zachodzie łączy się ze złożami Łapczyca, Moszczenica, Siedlec i Łęzkowice (Poborski, 1952).

Wewnętrzna tektonika złoża jest bardzo skomplikowana. Seria solna skupiona jest w północnym skrzydle antykliny bocheńskiej. Generalnie buduje je system stromo spiętrzonych fałdów i łusek. Struktury te w górnej części są prawie pionowe, w dolnej nachylają się pod kątem zbliżonym do około 45°.

Łączna miąższość serii solnej wynosi około 70 m. Budują ją 3 kompleksy soli kamiennej, których nazwy wiążą się z lokalizacją w obrębie złoża, tzn. sole południowe, środkowe i północne. Syntetyczny profil litostatygraficzny serii złożowej przedstawia figura 3.

Najbardziej poszukiwane do eksploatacji były sole południowe oraz środkowe. Sole południowe to głównie odmiany średnio- i gruboziarniste miąższości 2–4 m i zawartości NaCl około 85%. Sole środkowe to odmiany drobno- i średnioziarniste, szare, często zawierające przerosty soli białej (tzw. sól pasiasta), o średniej zawartości NaCl ok. 81,5% i miąższości do 12 m. Kompleks soli północnych stanowi zespół cienkich,

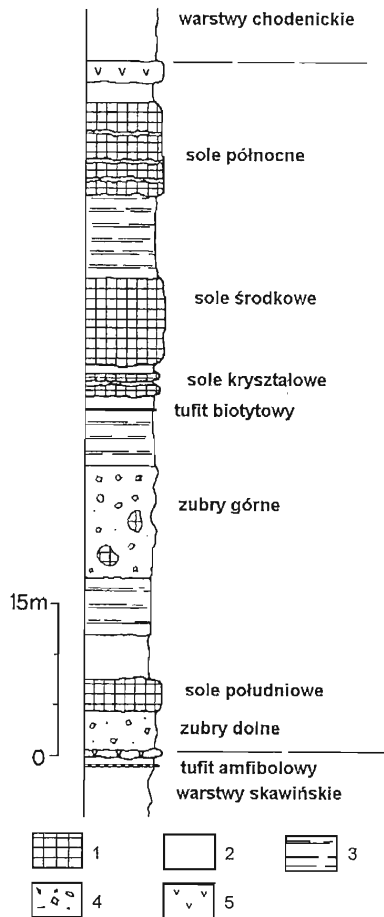


Fig. 3. Profil serii solnej w Bochni

1 — sole kamienne, 2 — iłowce margliste, 3 — zuber, 4 — iłowce anhydrytowe i łupki iłowca-anhydrytowe, 5 — anhydryty

Lithological section of saliferous series in Bochnia

1 — rock salts, 2 — marly claystones, 3 — zuber, 4 — anhydritic claystones and clay-anhydritic shales, 5 — anhydrites

od 8 do 10 m, warstw soli drobnoziarnistych z naprzemianległymi warstwami iłu i anhydrytu. Średnia zawartość NaCl w solach północnych wynosi 71,5%. W stropie serii solnej występuje 2–3-metrowa warstwa iłowca z anhydrytem, tzw. anhydryt stropowy. Powyżej występują już warstwy chodenickie (nadsolne) miąższości około 300 m wykształcone w postaci szarych iłów marglistych z wkładkami piaskowców, margli dolomitycznych oraz tuffitów (Poborski, 1952; Ślizowski, Saługa, 1996).

## KORELACJA POZIOMÓW TUFITOWYCH WYSTĘPUJĄCYCH W WIELICZCE I BOCHNI

Badeńska formacja solonośna tworzyła się na przedpolu wypiętrzających się Karpat i zbiegła się w czasie ze wzmożoną aktywnością geotektoniczną w tym rejonie. Częste erupcje wulkaniczne pozostawiły ślad w postaci osadów piroklastycznych — tufów i tufitów, których miąższość na Zakarpaciu dochodzi nawet do 1000 m (Kityk i in., 1983). Basen ewaporacyjny w polskiej części zapadliska przedkarpackiego położony był z dala od centrów erupcyjnych, niemniej ślady tych procesów zostały utrwalone w zapisie skalnym. W rejonie badań poziomy tufitowe występują zarówno w serii podewaporatowej, czyli w warstwach skawińskich (Parachoniak 1962; Alexandrowicz, 1997), w obrębie serii solonośnej (Pawlikowski, 1975; Charysz, Wiewiórka, 1977; Wiewiórka, 1979), jak i nadległych warstwach chodeńskich (Parachoniak, 1954, 1962; Alexandrowicz, 1997).

W kopalniach soli w Wieliczce i w Bochni stwierdzono występowanie cienkich wkładek tufitowych, które dobrze się korelują i zawierają materiał piroklastyczny z zachowanymi (nie przeobrażonymi) pierwotnymi minerałami.

Poziom tufitu amfibolowego (WT-1; Wiewiórka, 1979) występuje jeszcze w obrębie serii podewaporatowej w warstwach ilowców marglistych kilka metrów poniżej pierwszych wystąpień gipsu i anhydrytu. Jest on szczególnie interesujący ze względów stratygraficznych. W Wieliczce poziom ten odnaleziono w kilku odsłonięciach we wschodniej części kopalni na poziomach II, IV i V (*op. cit.*). Występuje on zawsze wśród ciemnoszarych ilowców w postaci soczewkowanej warstewki, której miąższość nie przekracza 5 cm. Ze względu na beżowordzawą barwę pochodzącą od zwietrzałych minerałów żelaza wyraźnie odcina się od ciemnego tła ilowców i stanowi wskaźnik sygnalizujący granicę złoza solnego (tabl. I, fig. 2).

Poziom ten charakteryzuje się dużą zawartością amfiboli, a wśród nich hornblendy. Te słupkowo wykształcone minerały widoczne są makroskopowo, a wielkość ich może dochodzić do 0,5 mm (tabl. II, fig. 1). Badania chemiczne wykazały podwyższoną zawartość Ca w hornblendzie (Książek i in., 1980; Bukowski i in., 1996), co może być dobrym wskaźnikiem wyróżniającym (tłumaczone jest to asymilacją skał węglanowych przez intrudującą magmę andezytową; Książek i in., 1980). Po przeanalizowaniu zawartości poszczególnych pierwiastków hornblendę zaliczono do podgrupy tremolit-tschermakit (Bukowski i in., 1996) według międzynarodowej klasyfikacji Ca-amfiboli (Bolewski, Mańnecki, 1993).

Obok hornblendy w tuficie występuje szkliwo wulkaniczne typu perlitu o charakterystycznej globulasto-banieczkowej budowie i zawartości SiO<sub>2</sub> 59–60% obliczonej na podstawie współczynnika załamania światła (Książek i in., 1980). Z grupy plagioklazów dość powszechnie występują andezyn i oligoklaz, jak również sporadycznie są spotykane plagioklasy zasadowe typu labrador-bytownit. Większość z nich wykazuje budowę zonalną (tabl. II, fig. 2). Mniej licznie występują pirokseny (augit), biotyt oraz minerały nieprzezroczyste reprezentowane przez piryty i magnetyt. Akcesorycznie występuje kwarc. Spoiwem skały jest halit.

W kopalni w Bochni poziom tufitu amfibolowego został stwierdzony na ociosie schodów Ołtarz na poziomie VII. Nieciągła warstewka o ciemnoszarej barwie i miąższości około 1–3 cm występuje tu w warstwach „mydlarki” (silnie sprasowanych tektonicznie ilowcach marglistych) około 2 m poniżej zubrów dolnych. Badania mikroskopowe wykazały obecność pojedynczych amfiboli (hornblendy) oraz plagioklazów zasadowych o budowie pasowej (tabl. III, fig. 1).

Poziom tufitowy opisywany z kilku otworów wiertniczych z okolicy Bochni (m. in. Bochnia 4 i 5) przez Olewicza (1968) to najprawdopodobniej ten sam poziom. Wskazuje na to jego położenie w profilu (około 5–9 m poniżej spagu serii solnej), jak i opis makroskopowy: „tufit ciemnoszary z wyraźnie wykształconymi ziarnami ciemnych minerałów tkwiących w słabo rozłożonym szklivię (...) ma małą miąższość 2–4 cm, zawiera duże ziarna minerałów fencicznych i habitus nierozłożonej skały wylewnej, a więc osadzonej w pobliżu wulkanu” (*op. cit.* s. 49). W takim położeniu w profilu (ok. 8 m poniżej serii ewaporatów) był opisywany poziom tufitowy występujący w obrębie warstw skawińskich na Górnym Śląsku, m.in. w otworze Żory 4 i w odsłonięciu w Woli Filipowskiej koło Krzeszowic (Parachoniak, 1962).

Poziom tufitu biotytowego (WT-3; Wiewiórka, 1979) rozpoznany został w kopalni soli w Wieliczce w spagu zespołu soli zielonych pokładowych. Występuje on jako ciągła, 0,1–1,5 cm warstewka w obrębie ilowców z anhydrytem, około 25 cm poniżej IV pokładu soli zielonej. W kopalni w Bochni poziom biotytowy odnaleziony został około 70 cm poniżej dolnego poziomu soli kryształowej; stanowi go 2,5 cm warstewka w ilowcach z anhydrytem (Wiewiórka, 1979; Bukowski, 1997a). We wszystkich odsłonięciach poziom ten wyróżnia się charakterystyczną rdzawobrunatną barwą (tabl. III, fig. 2).

Badania petrograficzne wkładki tufitu biotytowego pochodzącego z Wieliczki wykazały, że w tle skalnym złożonym z gipsu i halitu występują biotyt, plagioklasy, szkliwo wulkaniczne, kwarc oraz minerały nieprzezroczyste. Cechą charakterystyczną tego poziomu jest wyraźne wzbogacenie w łuszczyki. Chemizm szkliwa wskazuje na bardziej kwaśny charakter wulkanizmu odpowiadający ryolitom (Pawlikowski, 1975).

W złożu w Wieliczce opisano jeszcze dwa poziomy zawierające materiał wulkaniczny, tj. poziom WT-2 położony kilkadziesiąt centymetrów poniżej poziomu tufitu biotytowego oraz poziom WT-4 odnaleziony w wielokryształicznych solach złoza bryłowego (Wiewiórka, 1979). W kopalni w Bochni występowanie tych poziomów nie zostało udokumentowane.

Na obszarze Górnego Śląska poziom tufitu biotytowego był wzmiankowany w obrębie ilów przewarstwiających drobnoalaminowane gipsy w okolicy Gliwic (Alexandrowicz, 1972).

W północnej części zapadliska przedkarpackiego liczne przykłady występowania poziomów tufitowych w obrębie gipsów i anhydrytów podał Kubica (1992).

Towarzyszące erupcjom wulkanicznym trzęsienia ziemi (Peryt, Kasprzyk, 1992) mogły być bezpośrednią przyczyną

powstawania spływów podmorskich, prądów zawieszonych oraz osuwisk (tabl. III, fig. 3).

## BADANIA RADIOMETRYCZNE TUFITU AMFIBOLOWEGO

Z próbek hornblendy pochodzącej z tufitu amfibolowego z Wieliczki wykonano kilka oznaczeń wieku metodą radiometryczną K/Ar w laboratorium Instytutu Fizyki UMCS w Lublinie oraz w laboratorium Centre de Geochimie de la Surface CRNS w Strasburgu (Bukowski i in., 1996). Zasadniczą trudnością analityczną okazało się nie tyle oznaczenie izotopów argonu, ile dokładne oznaczenie zawartości potasu (hornblendy zawiera stosunkowo mało potasu, około 1%). Dalsze badania hornblendy wykonano metodą argonowo-argonową ( $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ), pozwalającą uniknąć błędów wynikających z nieprecyzyjnego oznaczenia potasu. Aktywację neutronami wykonano w Instytucie Problemów Jądrowych w Świerku. Oznaczenie metodą stopniowego wygrzewania wykonano w laboratorium Instytutu Fizyki UMCS (Bukowski i in., 1997). Badano różne próbki pochodzące z tego samego poziomu tufitu amfibolowego z Wieliczki (tab. 1).

Uzyskane wyniki pozwalają przypuszczać, że występują dwie generacje amfiboli w materiale piroklastycznym: starsza (około 18 Ma) i młodsza (około 12,5 Ma). Badania te będą kontynuowane i na ostateczną interpretację wyników należy jeszcze poczekać.

Oprócz wykonania pierwszych datowań poziomu amfibolowego rozpoczęto badania porównawcze materiału piroklastycznego z andezytami pienięskimi (rejon Góry Wżar), jako potencjalnym źródłem materiału wulkanicznego (badania te zostały zapoczątkowane przez Pawlikowskiego i in-

nych pod koniec lat siedemdziesiątych — Książek i in., 1980). W tym celu wykonano oznaczenie wieku hornblendy pochodzącej z młodszej intruzji andezytowej z Góry Wżar.

Tabela 1

Wyniki oznaczeń radiometrycznych hornblendy z tufitu amfibolowego z Wieliczki

Results of radiometric datings of hornblende from amphibolic horizon in Wieliczka

Metoda	Zawartość potasu %	Wiek Ma	Laboratorium
K/Ar	0,77	28,3±1,3	Inst. Fizyki UMCS Lublin
K/Ar	1,195	18,3±0,8	Inst. Fizyki UMCS Lublin
K/Ar	0,697	12,5±0,9	CRNS Strasburg
K/Ar	0,797	11,4±0,9	CRNS Strasburg
Ar/Ar	—	18,0±1,0	Inst. Fizyki UMCS Lublin

Badania przeprowadzono metodą Ar/Ar w Instytucie Fizyki UMCS w Lublinie. Otrzymany wynik 13,5±1 Ma bardzo dobrze koreluje się z wcześniejszymi oznaczeniami wykonanymi przez Birkenmajera: 12,6 i 13,05 Ma (Birkenmajer i in., 1987).

## BADANIA GEOCHEMICZNE ZAWARTOŚCI BROMU W SOLACH KAMIENNYCH

Badania geochemiczne zawartości bromu w solach kamiennych wykonuje się najczęściej w celu określenia stopnia zaawansowania cyklu ewaporatowego (zawartość Br jest proporcjonalna do wyjściowego stężenia ewaporującej solanki). W solach badeńskich w polskiej części zapadliska przedkarpackiego takie badania wykonywane były dla różnych profili serii solonośnej (niecka Rybnik–Żory–Orzesze, Wieliczka, Bochnia, Wojnicz; tab. 2). W zależności od typu litologicznego soli zawartość bromu waha się od 15 do 60 ppm. Jedynie nieliczne próbki charakteryzowały się większą zawartością Br (70–100 ppm), jak i skrajnie małą (7–15 ppm).

Badania eksperymentalne prowadzone przez wielu badaczy dowiodły, że pierwsze hality wytrącające się z wody morskiej zawierają 65–75 ppm Br (m. in. Waliaszko, 1956; Holser, 1979). Kontakt już wykrystalizowanych minerałów chlorkowych z roztworem o mniejszej zawartości bromu może spowodować obniżenie zawartości bromu w kryształach; w związku z tym za sole kamienne pierwotne uważa się te, w których zawartość bromu wynosi powyżej 40 ppm (Holser, 1979).

Rekrystalizacja soli i jej późniejsze deformacje plastyczne mogły dodatkowo wywoływać migracje bromu na zewnątrz kryształów halitu. Wskazywać na to może kształt krzywej zawartości bromu, gdy często w obrębie jednego pokładu soli występują wyraźne wahania zawartości bromu i nie obserwuje się stałej tendencji czy to wzrostowej, czy też regresywnej (Garlicki, Wali, 1983), jak również obserwowana podwyższona zawartość bromu występująca np. w solach o zwiększonej zawartości części ilastych.

Szczególnie małą zawartość bromu (10–20 ppm) można tłumaczyć rozpuszczaniem pierwotnych soli przez wody niedosyczone NaCl, a następnie ponownym wytrąceniem się wtórnego halitu (za sole całkowicie wtórne uważa się sole o zawartości 1–20 ppm Br; Holser, 1979). W takim przypadku koncentracja bromu w solance będzie pochodzić głównie z rozpuszczonych soli, a nie jak przy solach pierwotnych z ewaporujących do stanu nasycenia wód morskich. Takie tworzenie się wtórnych (descendentnych) halitów było opisywane w literaturze, m.in. z osadów messynu Sycylii, z basenu Lorca i eoceńskich soli potasowych z basenu Nawarra w Hiszpanii (Veigas i in., 1997).

Tabela 2

Zawartość bromu w badeńskich solach kamiennych  
Bromine content in Badonian rock salts

Lokalizacja	Liczba próbek	Zawartość Br ppm	Autorzy
Rybnik-Zory-Orzesze otwory: Woszczyce IG-1	144	10-40	Garlicki, 1988
Pałowice III	16	30-50	Majewski,
Rówień VII	6	20-30	Listkowski, 1969
Szczekawice II	11	30-60	jw.
Przegędza VIII	11	30-40	jw.
Kopalnia Wieliczka	108	18-80	Garlicki i in., 1981
Kopalnia Bochnia	77	15-45	Bukowski, 1997a
Wojnicz, otwory: IG/4	210	7-99	Makowska, 1982
IG/5	30	20-49	
IG/6	156	8-93	
Łętowice 1	4	10-25	
Łętowice 2	6	10-20	
Łętowice 3	8	10-27	

W solach badeńskich najmniej bromu (<20 ppm) zawierają odmiany drobnoziarniste (np. sole pasiaste w Bochni, sole najstarsze w Wieliczce), jak i sole kryształowe (otwór Woszczyce IG-1).

Porównując zmienność zawartości bromu w solach w Wieliczce i Bochni (Garlicki, Wiewiórka, 1981; Bukowski, 1997a) obserwuje się podobne prawidłowości w dolnej części profilu serii solnej. Zawartość bromu waha się bez wyraźnie określonego trendu od 18 do 67 ppm w Wieliczce i od 18 do 45 ppm w Bochni (fig. 4). Jedynie sole spizowe górne (IV cyklotem) w Wieliczce mają znacznie wyższą zawartość więcej bromu (30-80 ppm) niż odpowiadające im sole północne w Bochni (20-28 ppm). Dodatkowo górna część profilu bromowego w Bochni wykazuje wyraźnie regresywną tendencję, wskazującą na stopniowe przechodzenie od sedimentacji soli kamiennych do sedimentacji siarczanów (anhydryt stropowy). Odwrotnie dzieje się w Wieliczce, gdzie stopniowe zwiększenie zawartości bromu w kierunku stropu serii solnej zostało opisane przez Garlickiego i Wiewiórkę (1981).

Skład chemiczny solanek uwieczonych w inkluzjach z halitów pochodzących z Wieliczki (Galamay i in., 1997) i z

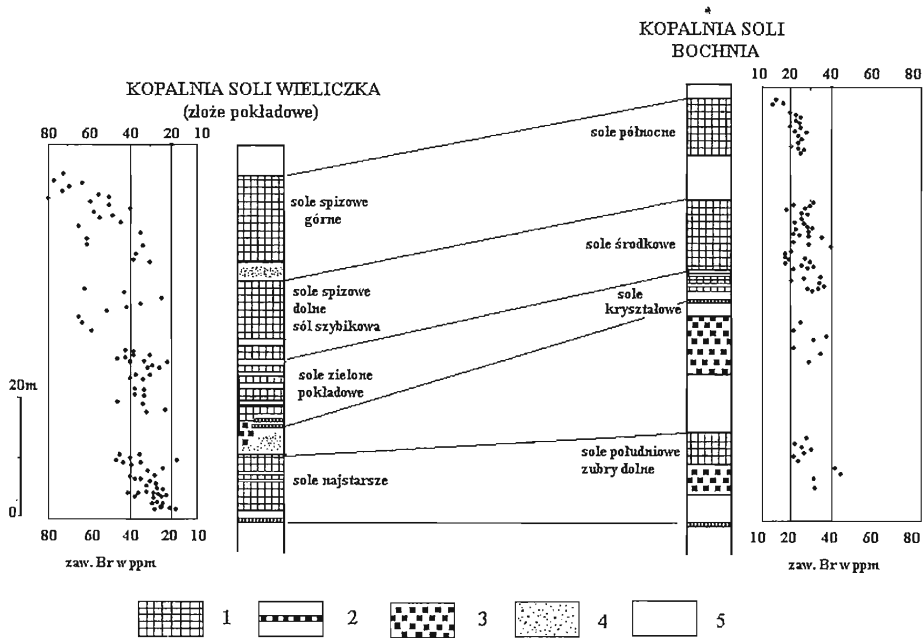


Fig. 4. Porównanie zawartości bromu w profilach serii solnej w Wieliczce i Bochni (według Garlickiego i Wiewiórki, 1981 oraz Bukowskiego, 1997a)  
1 — sole, 2 — tuffity, 3 — zuber, 4 — piaskowce, 5 — skały ilasto-siarczanowe

Comparison of bromine contents in saliferous series from Wieliczka and Bochnia (after Garlicki & Wiewiórka, 1981; Bukowski 1997a)  
1 — salts, 2 — tuffites, 3 — zuber, 4 — sandstones, 5 — clay-sulphate rocks

Bochni (Kovalevich, 1997) jest podobny. Cechą charakterystyczną jest stosunkowo małe stężenie jonów, bliskie zawartości występującej we współczesnej wodzie morskiej. Solanki te różniły się od współczesnej wody morskiej nieco obniżoną zawartością jonu  $\text{SO}_4^{2-}$ . Szczególnie niska zawartość jonu siarczanowego była obserwowana w kryształach halitu z zębów z Bochni. Prawdopodobnie zostało to wywołane dostawą do basenu dość znacznej ilości wód kontynentalnych oraz materiału terygenicznego, których wzajemne oddziaływanie prowadziło do zubożenia solanek w jon siarczanowy (*op. cit.*).

Badania izotopów siarki i tlenu z anhydrytów z Wieliczki i Bochni również potwierdziły podobieństwo obydwu środo-

wisk sedimentacji; zawartość tych izotopów generalnie nie odbiegała od wartości typowych dla siarczanów mioceni-  
skich. Należy nadmienić, że współczesne wody oceaniczne mają zbliżone zawartości stałych izotopów. Co ciekawsze, w próbce pochodzącej z zębów z Bochni również obserwowana była anomalnie mała zawartość  $\delta^{18}\text{O}$  i  $\delta^{34}\text{S}$ , wskazująca na duże prawdopodobieństwo oddziaływania wód kontynentalnych podczas sedimentacji tej serii (Bukowski, Szaran, 1997).

Temperatury homogenizacji mierzone w inkluzjach występujących w solach kryształowych i zębach z Bochni wynosiły 16–19°C (Kovalevich, 1997).

## PODSUMOWANIE

Poziomy osadów piroklastycznych są bardzo dobrymi horyzontami korelacyjnymi dla obydwu złóż. Ich położenie pozwala z dużym prawdopodobieństwem stwierdzić ciągłość sedimentacji chemicznej w rejonie Wieliczka-Bochnia. I tak solom najstarszym w Wieliczce odpowiadają sole południowe w Bochni, sole zielone pokładowe mają swój odpowiednik w solach kryształowych, sól szybikowa i dolna część soli spizowych mają swój odpowiednik w solach środkowych, sole spizowe górne odpowiadają solom północnym kończącym serię solną w Bochni.

Szerokie rozprzestrzenienie oraz charakterystyczny skład mineralny tufitów pozwala uznać je za poziomy bardzo dobrze nadające się do regionalnej korelacji osadów badeńskich.

**Podziękowania.** W badaniach radiometrycznych brał udział zespół prof. Stanisława Hałasa: mgr Artur Wójtowicz i mgr Tomasz Durakiewicz z UMCS z Lublina oraz mgr Michał Banaś z Instytutu Nauk Geologicznych PAN z Krakowa. Pragnę serdecznie podziękować prof. prof. Tadeuszowi Wieserowi, Aleksandrowi Garlickiemu i Tadeuszowi M. Perytowi za pomoc podczas pisania pracy. Specjalne podziękowania chciałbym złożyć mgr. inż. Januszowi Wiewiórcze za udostępnienie okazów oraz pomoc w opróbowaniu poziomów tufitowych. Badania finansowane były przez KBN (nr 10.140.153 i P04D 0009 11) oraz przez Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach tematu „Analiza basenu sedimentacyjnego Przedkarpacia” (poz. pl. 2.14.0100.00.0).

## LITERATURA

- ALEXANDROWICZ S. W., 1972 — Iłowce dolomityczne w profilu środkowego badenu okolic Gliwic. *Zesz. Nauk. AGH Geologia* 16: 17–26.
- ALEXANDROWICZ S. W., 1997 — Lithostratigraphy of the Miocene Deposits in the Gliwice Area (Upper Silesia, Poland). *Bull. Pol. Acad. Sc. Earth Sc.* 45, 1: 167–179.
- BIRKENMAJER K., DELITALA M. C., NICOLETTI M., PETRUCCIANI C., 1987 — K-Ar Dating of andesite intrusions (Miocene), Pieniny Klippen Belt, Carpathians. *Bull. Pol. Acad. Sc. Earth Sc.* 35, 1: 11–20.
- BOLEWSKI A., MANECKI A., 1993 — Mineralogia szczegółowa: 1–663. PAE. Warszawa.
- BUKOWSKI K., 1997a — Zawartość bromu w solach badeńskich w Bochni. *Prz. Geol.* 45, 8: 819–821.
- BUKOWSKI K., 1997b — Sedimentation of clastic deposits associated with Miocene salts in Wieliczka (Southern Poland). *Slovak Geol. Mag.* 3, 2: 157–164.
- BUKOWSKI K., WÓJTOWICZ A., DURAKIEWICZ T., 1996 — Wstępne wyniki badań datowania hornblendy z poziomu tufitowego w kopalni soli w Wieliczce metodą K/Ar. W: Datowanie minerałów i skał: 13–18. III Ogólnopolska Sesja Naukowa. UMCS Lublin.
- BUKOWSKI K., DUDEK K., WÓJTOWICZ A., DURAKIEWICZ T., HAŁAS S., 1997 — Hornblenda jako materiał do oznaczania wieku radiometrycznego metodą K/Ar. W: Datowanie minerałów i skał: 22–26. IV Ogólnopolska Sesja Naukowa. UMCS Lublin.
- BUKOWSKI K., SZARAN J., 1997 — Zawartość izotopów tlenu i siarki w anhydrytach z serii solonośnej Wieliczki i Bochni. *Prz. Geol.* 45, 8: 816–818.
- CHARYSZ W., WIEWIÓRKA J., 1977 — Paleogeograficzne warunki sedimentacji ewaporatów w dolnej części złoża wielickiego. *Sprawy z Pos. Komis. Nauk. PAN Krak.* 20, 1: 197–199.
- GALAMAY A. R., BUKOWSKI K., PRZYBYŁO J., 1997 — Chemical composition and origin of brines in the Badenian evaporite basin of the Carpathian Foredeep. *Slovak Geol. Mag.* 3, 2: 165–171.
- GARLICKI A., 1968 — Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpacia między Skawiną a Tarnowem. *Biol. Inst. Geol.* 215: 5–78.
- GARLICKI A., 1970 — Złoże soli kamiennej Moszczenica–Łapczyca na zachód od Bochni. *Kwart. Geol.* 14, 2: 350–360.
- GARLICKI A., 1971 — Złoże soli kamiennej w Łęzkowicach nad Rabą. *Kwart. Geol.* 15, 4: 931–945.
- GARLICKI A., 1979 — Sedimentacja soli miocenijskich w Polsce. *Pr. Geol. Komis. Nauk Geol. PAN Krak.* 119: 1–66.
- GARLICKI A. (red.), 1988 — Szczegółowe badania zawartości pierwiastków śladowych w salinarnych osadach cechytynu i miocenu. Arch. AGH. Kraków.
- GARLICKI A., WALI A.M.A., 1983 — Geochemical characteristics of Bochnia Evaporites Member, with new aspects in Br/Cl ratio determinations. *Mineral. Pol.* 12, 2: 25–47.
- GARLICKI A., WIEWIÓRKA J., 1981 — The Distribution of Bromine in Some Halite Rock Salts of the Wieliczka Salt Deposit (Poland). *Ann. Soc. Geol. Pol.* 51, 3–4: 353–360.
- GAWEŁ A., 1962 — Budowa geologiczna złoża solnego Wieliczki. *Pr. Inst. Geol.* 30, cz. 3: 305–331.
- HOLSER W. T., 1979 — Trace elements and isotopes in evaporites. In: R. G. Burns (Ed.), *Marine Minerals. Miner. Soc. Am.* 6: 295–318.



- KARNKOWSKI P., OŁTUSZCZYK S., 1968 — Atlas geologiczny przedgórza Karpat Polskich 1:500 000. Inst. Geol. Warszawa.
- KITYK W. I., BOKUN A. N., PANOW G. M., SŁIWKO E. P., SZAJDETSKAJA W. S., 1983 — Galogennyne formacji Ukrainy: 1–169. Naukowa Dumka. Kiev.
- KOLASA K., ŚLĄCZKA A., 1985 — Sedimentary salt megabreccias exposed in the Wieliczka mine. Fore-Carpathian Depression. *Acta Geol. Pol.* 35, 3–4: 221–230.
- KOVALEVICH W. M., 1997 — Inkluzje fluidalne w soli kamiennej z Bochni. *Prz. Geol.* 45, 8: 822–825.
- KSIĄŻEK E., PARACHONIAK W., PAWLIKOWSKI M., WIEWIÓRKA J., 1980 — Badania amfiboli z andezytowego tuftu wielickiego i andezytów pienińskich. *Pr. Miner. Komis. Nauk Miner. PAN Krak.* 66: 7–18.
- KUBICA B., 1992 — Rozwój litofacialny osadów chemicznych badenu w północnej części Zapadliska Przedkarpacciego. *Pr. Państw. Inst. Geol.* 133: 1–64.
- KWIATKOWSKI S., 1972 — Sedymentacja gipsów mioceńskich południowej Polski. *Pr. Muz. Ziemi* 19: 3–93.
- MAJEWSKI J., LISTKOWSKI W., 1969 — Dokumentacja geologiczna złoza soli kamiennej w kat. C<sub>2</sub> w rejonie Rybnik–Żory–Orzesze. Centr. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- MAKOWSKA J., 1982 — Dokumentacja geologiczna zasobów złoza soli kamiennej w rejonie Wojnicz, woj. tarnowskie. Centr. Arch. Państw. Inst. Geol. Warszawa.
- NEY R., 1968 — Rola rygla krakowskiego w geologii zapadliska przedkarpacciego i rozmieszczeniu złóż ropy i gazu. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie* 45: 7–82.
- NEY R., BURZEWSKI W., BACHLEDA T., GÓRECKI W., JAKÓBCZAK K., SŁUPCZYŃSKI K., 1974 — Zarys paleogeografii i rozwoju litologiczno-facialnego utworów miocenu zapadliska przedkarpacciego. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie* 82: 1–65.
- OLEWICZ Z. R., 1968 — Stratygrafia warstw jednostki bocheńskiej i brzegu jednostki śląskiej między Wieliczką a Bochnią oraz pierwotne ich położenie w basenach sedymentacyjnych Karpat lub Przedgórza: 1–76. Prace Instytutu Naftowego. Katowice.
- OŁTUSZYK S., 1967 — Miąższość serii utworów gipsowo-anhydrytowych Przedgórza Karpat. *Geof. i Geol. Naft.* 3: 66–71.
- OSZCZYPKO N., 1996 — Mioceńska dynamika polskiej części zapadliska przedkarpacciego. *Prz. Geol.* 44, 10: 1007–1018.
- PARACHONIAK W., 1954 — Tortońska facja tufitowa między Bochnią a Tarnowem. *Acta Geol. Pol.* 4, 1: 67–92.
- PARACHONIAK W., 1962 — Mioceńskie utwory piroklastyczne przedgórza Karpat Polskich. *Pr. Geol. Kom. Nauk Geol. PAN Oddz. w Krakowie* 11: 1–77.
- PAWLIKOWSKI M., 1975 — Studium mineralno-petrograficzne utworów terygeniczno-chemicznych złoza solnego Wieliczki. Praca doktorska. Arch. AGH. Kraków.
- PERYT T. M., 1996 — Sedimentology of Badenian (middle Miocene) gypsum in eastern Galicia, Podolia and Bukovina (West Ukraine). *Sedimentology* 43, 3: 571–588.
- PERYT T. M., KASPRZYK A., 1992 — Earthquake-induced resedimentation in the Badenian (middle Miocene) gypsum of southern Poland. *Sedimentology* 39, 2: 235–249.
- PERYT T. M., POBEREŻSKI A. W., JASIONOWSKI M., PETRYCZENKO O. I., PERYT D., RYKA W., 1994 — Facje gipsów badeńskich Poniżia i Naddniestrza. *Prz. Geol.* 42, 9: 771–776.
- PETRYCZENKO O. I., PANOW G. M., PERYT T. M., SREBRODOLSKI B. I., POBEREŻSKI A. W., KOWALEWICZ W. M., 1994 — Zarys geologii mioceńskich formacji ewaporatowych ukraińskiej części zapadliska przedkarpacciego. *Prz. Geol.* 42, 9: 734–737.
- PETRICHENKO O. I., PERYT T. M., POBEREŻSKI A. V., 1997 — Peculiarities of gypsum sedimentation in the Middle Miocene Badenian evaporite basin of Carpathian Foredeep. *Slovak Geol. Mag.* 3, 2: 91–104.
- POBORSKI J., 1952 — Złoże solne w Bochni na tle geologicznym okolicy. *Biul. Inst. Geol.* 78: 1–160.
- ŚLĄCZKA A., KOLASA K., 1997 — Resedimented salt in the Northern Carpathians Foredeep (Wieliczka, Poland). *Slovak Geol. Mag.* 3, 2: 135–155.
- ŚLIZOWSKI K., SAŁUGA P., 1996 — Surowce chemiczne. Sól kamienna. W: R. Ney (red.), Surowce mineralne Polski: 1–178. Wyd. Centrum PPGSMiE PAN. Kraków.
- VEIGAS J. G., ROSSELL, GARLICKIA., 1997 — Petrology and geochemistry (fluid inclusions) of Miocene halite rock salts (Badenian, Poland). *Slovak Geol. Mag.* 3, 3: 181–186.
- WALIASZKO M. G., 1956 — Geochimia broma w procesach galogeneza i iśliedowaniję sodierzanija broma w kaczestwie genieticzeskowo i poiskowo kriteria. *Geochimia* 6: 33–48.
- WIEWIÓRKA J., 1979 — Przewodnie poziomy tufitowe w Kopalni Sól Wieliczka. *Spraw. z Pos. Komis. Nauk. PAN Krak.* 21, 1: 176–178.

## COMPARISON OF THE BADENIAN SALIFEROUS SERIES FROM WIELICZKA AND BOCHNIA IN THE LIGHT OF NEW DATA

(z 4 Figs. and 3 Plates)

*Słowa kluczowe:* salts, pyroclastic deposits, radiometric datings, Carpathian Foredeep.

### SUMMARY

Badenian evaporites, due to their lithologic peculiarity and distribution, form a major correlation horizon in the Carpathian Foredeep. They occur as 2 facies: chloride (rock salts, anhydrites, gypsum and claystones — the Wieliczka Formation) and sulphate ones (gypsum, anhydrites, claystones — the Krzyżanowice Formation). The sulphate facies, 10–30 m thick, occurs over almost the whole Carpathian Foredeep. No evaporitic deposits have been found north of Rzeszów within the so-called "Rzeszów Isle" and locally north of Dębica, Ropczyce and Brzesko.

The chloride facies occurs within a narrow near-Carpathian zone between Kraków and Przemyśl and in the Upper Silesia (Rybnik–

Żory–Orzesze trough). Their thicknesses only locally exceed 40–50 m, in some places reaching 100 m. These deposits rest in both autochthonous and allochthonous position. The Badenian salt deposits were probably formed in the deepest parts of the evaporitic basin and in local overdeepenings. Their formation was influenced by submarine slides which transported terrigenous material and evaporites. Earlier deposited salts were probably transported from a shallower (shelf) marine zone down into an open sea where they were partly dissolved and recrystallized again. These processes, related to periodical changes in sea level and configuration of shoreline, were of a cyclic character. 5 sedimentary cycles — cyclothems, have been

distinguished within the Badenian evaporitic sequence of the Carpathian Foredeep.

The rock salt mines in Wieliczka and Bochnia belong to the oldest ones in the world. They are located in the northern margin of the Carpathians, within a narrow zone of folded Miocene deposits containing apart from evaporites also numerous interbeds of terrigenous deposits. Thin tuffite interbeds have been found in the Wieliczka and Bochnia salt mines. They well correlate with each other and contain pyroclastic material with well preserved (not altered) primary minerals. Their position most probably points to a continuous evaporitic sedimentation in the Wieliczka–Bochnia area. The oldest Wieliczka salts correspond to the southern salts of Bochnia. The green layered salts have their equivalent in crystal salts, whereas the Shaft salt and the lower part of the Spisa salts correspond to the middle salts. The upper part of the Spisa salts are equivalent of the northern salts terminating the saliferous series in Bochnia.

The amphibolic tuffite horizon occurring immediately below the evaporitic series is particularly interesting in respect of stratigraphy. Hornblende samples collected from that horizon in Wieliczka have been dated radiometrically using the K/Ar and Ar/Ar methods. First conclusions allow to suppose that there are 2 generations of amphiboles in pyroclastic material: the older one (about 18 Ma) and younger one (about 12.5 Ma). However, it must be stressed that the studies will be continued and the ultimate interpretation of the results should be postponed.

Together with first datings of the amphibolic horizon, comparative studies of the pyroclastic material and Pieniny andesites (vicinity of Wżar Mountain) as a potential volcanic material source, have started. With the aim of this, radiometric datings of hornblende coming from the younger andesite intrusion of Wżar have been made.

The measurements were carried out by the Institute of the UMCS in Lublin using the Ar/Ar method. The result 13.5 Ma  $\pm$  1 Ma very well correlates with earlier datings made by K. Birkenmajer (12.6 Ma, 13.05 Ma — Birkenmajer *et al.*, 1987).

Bromine contents in halites have also been compared. Such determinations are usually used in order to recognize a stage of evaporitic cycle (Br content is proportional to initial concentration of evaporating brine). In the Badenian salts of the Polish part of Carpathian Foredeep such studies have been conducted for various sections of the saliferous series (Rybnik–Żory–Orzesze trough, Wieliczka, Bochnia, Wojnicz). A bromine content ranges from 15 to 60 ppm depending on a lithological type of salt. Only in small amounts of samples, both higher contents of bromine reaching 70–100 ppm and extremely low ones — 7–15 ppm, were noted. Having compared the bromine contents from Wieliczka and Bochnia, similar regularities in the lower and middle parts of the saliferous series can be observed. In general, the bromine content is relatively low, which is characteristic of the Badenian salts. Differences, pointing to slightly different sedimentary conditions, appear not before the upper part of the sequence (IV–V cyclothem). Chemical compositions of brines confined within inclusions of halites from Wieliczka and Bochnia are similar. Their characteristic feature is relatively low ionic concentration being close to that recorded for modern marine waters. Those brines differed from modern marine waters in their chemical composition by a slightly lower content of ion SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>. Studies of sulphur isotope  $\delta^{34}\text{S}$  and oxygen isotope  $\delta^{18}\text{O}$  from anhydrites of Wieliczka and Bochnia have also confirmed similarities between those two sedimentary environments, and their contents usually do not stray from values typical of Miocene sulphates.

Translated by Krzysztof Leszczyński

## OBJAŚNIENIA DO TABLIC

### TABLICA I

- Fig. 1. Fragment profilu soli spizowych. Widoczne sole szare i laminowane przedzielone anhydrytem trzewiowym. Kop. Soli Wieliczka, poprzeczna Albrecht, poz. III. Fot. J. Przybyło.
- Fragment of Spisa salts. Grey and laminated salts separated by enterolithic anhydrite are visible. Wieliczka salt mine, traverse Albrecht, level III. Phot. by J. Przybyło.
- Fig. 2. Poziom tufitu amfibolowego (WT-1) występujący w obrębie spągowych ilowców marglistych. Kop. Soli Wieliczka, poprzeczna 2-323, poz. II n. Fot. autor.
- Amphibolic tuffite horizon (WT-1) within basal marly claystones. Wieliczka salt mine, traverse 2-323, level II n. Phot. by the author.

### TABLICA II

- Fig. 1. Pojedynczy wydłużony słupek hornblendy z prawidłowo wykształconymi ścianami i zakończeniami. Tufit amfibolowy z Wieliczki. Fot. SEM M. Rembiś.
- Single elongated hornblende column with regularly crystallized walls and ends. Amphibolic tuffite from Wieliczka. SEM Phot. by M. Rembiś.
- Fig. 2. Fragment szlif u mikroskopowego z tufitu amfibolowego z Wieliczki. Widoczny duży kryształ hornblendy oraz skorodowane ziarno plagioklastu tkwiące w siarczanowym matrix. Ciemne pola to izotropowy halit. Nikole X. Pow. 15x. Fot. M. Banaś.
- Fragment of thin section from amphibolic tuffite from Wieliczka. Large hornblende crystal and corroded plagioclase grain

within sulphate matrix is visible. Dark areas are isotropic halite. Crossed nicols, x15. Phot. by M. Banaś.

### TABLICA III

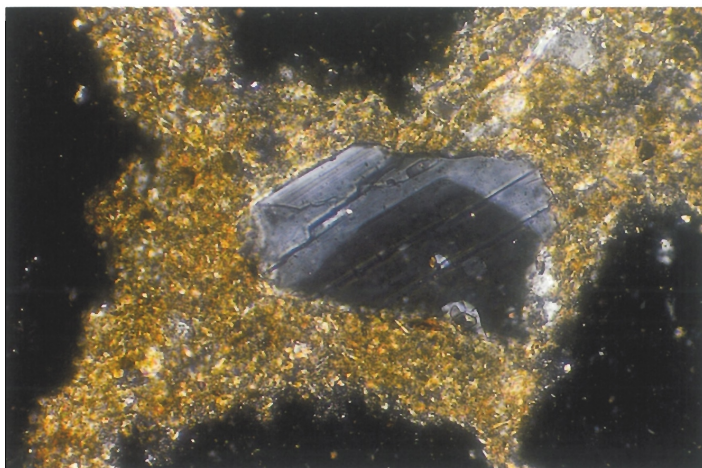
- Fig. 1. Plagioklast o budowie pasowej z tufitu amfibolowego z Bochni. Pomiar kąta wygaszania poszczególnych pasów wskazywały na zawartość An od 62 do 73%. Nikole X. Pow. 20x. Fot. M. Banaś.
- Ribbon plagioclase from amphibolic tuffite from Bochnia. Extinction angles for particular ribbons point to 62–73% An content. Crossed nicols, x20. Phot. by M. Banaś.
- Fig. 2. Poziom tufitu biotytowego (WT-3) występujący w obrębie ilowców z anhydrytem i żyłami soli włóknistej. Kop. Bochnia, poz. IV August. Fot. autor.
- Biotite tuffite horizon (WT-3) occurring within claystones with anhydrite and hair-salt veins. Bochnia mine, level IV August. Phot. by the author.
- Fig. 3. Zaburzenia warstw ilowców anhydrytowych występujących w obrębie pokładu soli spizowej. Przykład odmiennego zachowywania się osadów terygenicznych i soli w warunkach naprężeń tektonicznych. Kop. Soli Wieliczka, poziom II n, poprzeczna Franciszek. Fot. J. Przybyło.
- Deformations in anhydritic claystones occurring within Spisa salts bed. Such structures result from different behaviour of terrigenous deposits and salts under tectonic stresses. Wieliczka salt mine, traverse Franciszek, level II n. Phot. by J. Przybyło.



1



2



1



2



3



ORJAŚNIENIA DO TABL

