

KATARZYNA CYRAN*

Inkluzje w solach kamiennych Bochni i Wieliczki jako dowód deformacji tektonicznych?

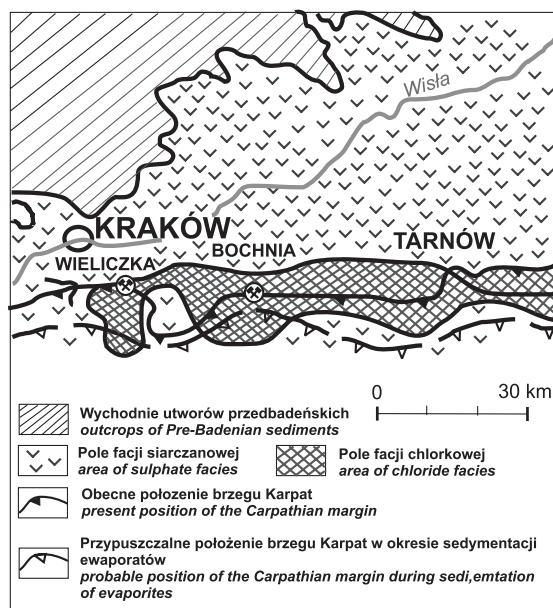
1. Zarys tektoniki złóż soli Bochnia i Wieliczka

Struktura wewnętrzna złoża bocheńskiego i wielickiego została ukształtowana w trakcie ruchów wypiętrzających Karpaty (rys. 1), podczas których formacja solonośna została zgarnięta, przesunięta z południa na północ i skoncentrowana na niewielkim obszarze, tworząc wzdłuż brzegu Karpat wąski pas miocenu allochtonicznego (Poborski i Skoczylas-Ciszewska 1963; Ney i in. 1974).

W kopalni soli Wieliczka wyrobiska górnicze są usytuowane na głębokości 64–327 m poniżej powierzchni terenu. Południowa granica złoża (Gaweł 1962; Wiewiórka 1984, 1988) jest wyznaczona przez nasunięcie utworów fliszu. Z kolei północną granicę stanowi tektoniczny kontakt pomiędzy warstwami chodenickimi i zubrami części bryłowej złoża. Charakterystyczną cechą budowy złoża wielickiego jest jego tektoniczna i litostratygraficzna dwudzielność. Dolna część złoża ma formę zafałdowanych i złuskowanych pokładów soli kamiennej przedzielonych utworami płonnyimi. W rejonie objętym wyrobiskami górniczymi złożo pokładowe ma formę trzech fałdów (Gaweł 1962) ponasuwanych na siebie i obalonych z południa na północ. Fałdy te cechuje asymetryczność skrzydeł, tj. wycienienie warstw soli w skrzydłach północnych i pogrubienie w skrzydłach południowych. Złożo pokładowe otulają utwory złoża bryłowego reprezentowane przez iłowce margliste, zubry oraz bryły soli (Połtowicz 1977; Kolasa i Ślęczka 1985a i b).

Złożo soli kamiennej Bochnia zlokalizowane jest w północnym skrzydle antykliny bocheńskiej, która jest głównym fałdem w tym rejonie (Poborski 1952). Wyrobiska kopalniane rozciągają się na głębokości 70–448 m poniżej powierzchni terenu. Część wschodnia

* Katedra Geologii Złożowej i Górniczej AGH, Kraków; e-mail: kcyran@geolog.geol.agh.edu.pl



Rys. 1. Występowanie osadów chemicznych miocenu w okolicy Krakowa (wg. Garlickiego 1979)

Fig. 1. Occurrence of Miocene chemical deposits in the vicinity of Krakow (after Garlicki 1979)

i zachodnia złoże wykazuje wyraźną odmienność tektoniczną. W zachodniej części złoże zaleganie utworów serii solnej zmienia się wraz z głębokością. Do głębokości około 200–300 m warstwy leżą stromo, prawie pionowo oraz dominują dwa kierunki upadu: północny i południowy. Poniżej zalegają łagodniej (średni kąt upadu wynosi 15–45°) i występuje południowy kierunek upadu. Natomiast wschodnią część złoże charakteryzuje prawie monoklinalne zaleganie utworów serii solnej oraz południowy kierunek upadu (Poborski J. 1952). Serię solną budują warstwy soli z przeławicającymi je utworami płynnymi.

2. Przygotowanie próbek i metodyka badań

Materiał do badań inkluzji został pozyskany w dostępnych wyrobiskach kopalni soli Bochnia i Wieliczka na czynnych poziomach kopalnianych. Pierwszym etapem prac było przeprowadzenie analizy mezostrukturalnej i wytypowanie miejsc cechujących się znacznym zaangażowaniem tektonicznym utworów serii solnej. Próbki pobrano w miejscach odznaczających się dużą intensywnością deformacji tektonicznych, jak: przeguby fałdów, spękania wypełnione solą włóknistą, powierzchnie zlustrowania. Z każdym z tych miejsc związane są charakterystyczne rodzaje soli o cechach przydatnych w badaniach mikrotektoniki. W przegubach fałdów występują sole zmienione geodynamicznie, które charakteryzują się wydłużonymi, niekiedy wrzecionowatymi ziarnami, ułożonymi kierunkowo. W przypadku soli włóknistych interesujące jest widoczne makroskopowo zanikanie granic pomiędzy

włóknami i rekrytalizacja. Z kolei sole pobrane z lustra tektonicznego są makroskopowo podobne do soli zmienionych geodynamicznie; ich cechą rozpoznawczą są również ułożone kierunkowo, wrzecionowate ziarna. Sole trzaskające występują w kopalni wielickiej przy południowej granicy złoża i ich geneza jest związana z tektoniką. Swoją nazwę zawdzięczają obecności dużej liczby inkluzji ciekło-gazowych. W drugim etapie wykonano badania mikroskopowe, których zamierzeniem było sprawdzenie, jaka jest intensywność deformacji tektonicznych utworów w tej skali.

W celu przeprowadzenia badań mikroskopowych wykonano płytki grube. Wytypowany materiał szlifowano z dwóch stron na papierze ściernym o ziarnistości kolejno: 320, 400, 600, 1000, 1200 i 1500, aby uzyskać ostateczną grubość płytki od 0,5 do 0,7 mm. Następnie powierzchnię płytek polerowano pastą DIALUX i w roztworze dwuchromianu potasu z gliceryną. Przygotowane w ten sposób płytki analizowano pod mikroskopem do światła przechodzącego oraz dla wybranych preparatów przeprowadzono badania mikrotermometryczne.

3. Podział inkluzji ze względu na środowisko powstania

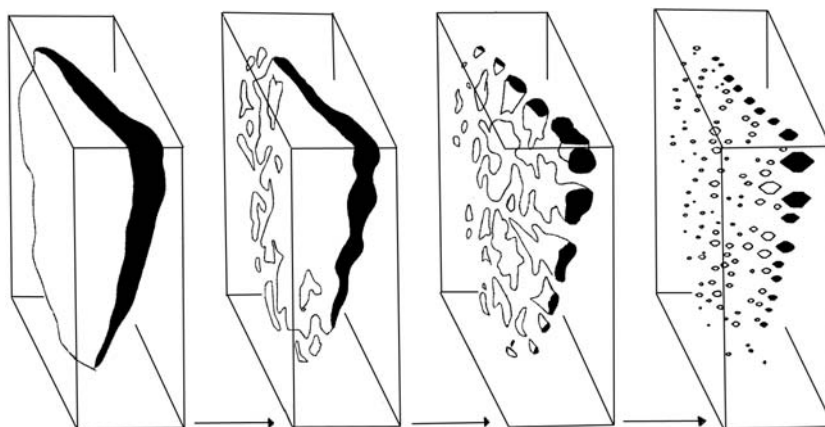
Określenie środowiska powstania inkluzji i czasu jej zamknięcia niesie ze sobą informacje na temat wzrostu kryształu, jego rekrytalizacji i historii spękań. Zgodnie z tymi kryteriami inkluzje dzieli się na trzy grupy (Goldstein 2002):

- pierwotne: zamknięte podczas wzrostu kryształów, na dnie zbiornika ewaporacyjnego,
- wtórne: zamknięte po zakończeniu fazy wzrostu, kiedy kryształ został przecięty przez spękanie i spękanie to zostało zabliznione w wyniku utworzenia inkluzji,
- pseudowtórne: zamknięte przed zakończeniem wzrostu kryształu, ale niekoniecznie jako bezpośredni rezultat jego wzrostu; mogą być to inkluzje utworzone wzdłuż mikrospękań lub innych deformacji, które w ten sposób zostają zabliznione.

Różnicę pomiędzy inkluzjami pseudowtórnymi a wtórnymi stanowi fakt, że po utworzeniu inkluzji pseudowtórnych następuje dalszy wzrost kryształu. Natomiast inkluzje wtórne powstają po zakończeniu wzrostu kryształu.

4. Zabliznianie spękań

W soli, podobnie jak w innych skałach, rozróżnia się dwa typy deformacji: kruche i plastyczne (Passchier, Trouw 2005). Wynikiem kruchych deformacji może być powstanie mikrospękania lub powierzchni ścinania (Goldstein, Reynolds 1994). Kiedy takie nieciągłości się rozwiną jest prawdopodobne, że zostaną one wypełnione przez ciecz obecną podczas lub po procesie deformacji. Zatrzymanie cieczy pomiędzy zdeformowanymi powierzchniami odbywa się w procesie osadzania (na skalę mikroskopową) lub przez



Rys. 2. Schematyczny diagram przedstawiający etapy zablizniania mikrospękania (wg. Roedder 1962)

Fig. 2. Schematic diagram showing stages of healing microfracture (after Roedder 1962)

równoczesne rozpuszczanie i osadzenie. Należy podkreślić, że raz powstałe spękanie nie zniknie, musi zostać zabliznione przez jeden z wymienionych procesów. Z czasem mikrospękanie zmienia kształt przez rozpuszczanie i ponowne osadzanie fazy mineralnej, tak aby uzyskać stan najniższej powierzchniowej energii (rys. 2). W wyniku tego inkluzje zostają rozmieszczone wzdłuż powierzchni dawnego spękania. Proces zablizniania spękań nosi nazwę *necking down*. Nie wymaga on transportu nowych jonów do roztworu z zewnątrz. Natomiast inkluzje zamknięte w tym procesie należy zaliczyć do wtórnych (Goldstein, Reynolds 1994). Przebiega on także w niskiej temperaturze, w obecności fazy płynnej, która nie musi być widoczna, nawet pod dużym powiększeniem. Jest to proces szybki (w znaczeniu geologicznym) i zachodzi w sprzyjających warunkach w skali dni i lat (Goldstein, Reynolds 1994). Należy dodać, że proces *necking down* jest szczególnie szybki w kryształach halitu, który łatwo ulega rekrytalizacji nawet przy niskiej temperaturze i ciśnieniu (Roedder 1984).

W związku z powyższym, inkluzje powstałe w procesie *necking down* mogą dostarczyć informacji na temat warunków, w jakich przebiegała deformacja (Goldstein 2002), a tym samym są dowodem na działanie procesów tektonicznych.

5. Ślady kruchych i plastycznych deformacji w utworach miocenowych

W analizowanych płytkach grubych stwierdzono liczne ślady zarówno kruchych jak i plastycznych deformacji. Do pierwszej grupy można zaliczyć mikrospękania oraz powierzchnie ciekłych inkluzji zablizniające spękania, przebiegające skośnie do płaszczyzn wzrostu kryształów. Wśród śladów plastycznych deformacji można wymienić: obszary pozbawione inkluzji, ślady migracji roztworów, obecność inkluzji na granicach ziaren, relikty struktury szewronowej.

Jak opisano powyżej, mikrospeknięcie może zostać wypełnione przez ciecz obecną w czasie lub po procesie deformacji, co w efekcie prowadzi do rozmieszczenia inkluzji ciekłych wzdłuż powierzchni dawnego spękania (Goldstein, Reynolds 1994). W związku z tym, obecność inkluzji jest dowodem na istnienie jednej lub kilku generacji spękań, które z czasem zostały zabliźnione (Passchier, Throuw 2005).

W płytkach wykonanych ze wszystkich typów soli zaobserwowano liczne powierzchnie inkluzji, zabliźniające spękania. Mają one formę linii prostej, niektóre krzyżują się ze sobą (rys. 3A), ale występują także powierzchnie w formie łukowatych linii (rys. 3B). Wielkość inkluzji jest zróżnicowana i waha się od 0,5 mikrometrów do 10 milimetrów. Kształt inkluzji również jest różnorodny: od równoległobocznych poprzez sferyczne, elipsoidalne, rurkowate, po nieregularne (rys. 4). Cechy inkluzji i sposób ich rozmieszczenia wskazują na to, że zabliźnianie mikrospeknięć odbywało się w procesie *necking down* (Roedder 1984). Co więcej w soli włóknistej można było zaobserwować, że proces ten nie został jeszcze zakończony i ciągle trwa (rys. 5).

W próbkach soli zmienionej geodynamicznie, soli z lustra tektonicznego i soli włóknistej, widoczne są nieregularnie rozmieszczone pasma inkluzji, które otacza sól nie zawierająca inkluzji (rys. 6). Można przypuszczać, że czysta, pozbawiona inkluzji sól powstała przez rozpuszczanie pod ciśnieniem bogatej w inkluzje soli, a następnie wzrost bez inkluzji (Roedder 1984). Stwierdzono, że proces rekryształizacji zachodzi szybciej, jeśli w złożu obecne są roztwory. Ponadto w pokładowych złożach soli z wkładkami ilowców znaczne ilości fazy ciekłej mogą zostać uwolnione w wyniku utraty wody przez minerały ilaste (Carter, Hansen 1983).

Interesującym materiałem badawczym są w obrazie mikroskopowym sole włókniste. Na granicach niektórych włókien występują płaszczyzny rurkowatych inkluzji ciekło-gazowych, które mają nawet kilka milimetrów długości (rys. 7). Można także zaobserwować proces *necking down* w trakcie, odbywający się poprzez zabliźnianie występujących w soli włóknistej spękań oraz zanikanie granic pomiędzy włóknami (rys. 5). Obecność obszarów czystej soli bez inkluzji świadczy o tym, że sól ta uległa rekryształizacji. W tym przypadku rekryształizacja mogła być ułatwiona obecnością wilgoci w powietrzu kopalnianym. Ponadto, wpływ na szybką rekryształizację tych soli mogą mieć zmiany naprężenia w górotworze wywołane eksploatacją oraz w mniejszym stopniu współczesną aktywnością górotworu karpackiego.

Jak wspomniano powyżej, sole zmienione geodynamicznie charakteryzują się wydłużonymi i kierunkowo ułożonymi ziarnami o nieregularnych, zazębiających się krawędziach. Z kolei, poszczególne ziarna odznaczają się nieregularnością granic, zmienną zawartością zanieczyszczeń oraz zróżnicowaniem wielkości. Na granicach pomiędzy ziarnami widoczne są grupy inkluzji ciekłych i ciekło-gazowych, natomiast strefa wewnątrz ziarna jest ich pozbawiona (rys. 8A). Wszystkie te cechy mogą wskazywać na proces migracji granic ziaren halitu, który jest istotnym czynnikiem podczas plastycznych deformacji (den Brok i in. 1999).

W obrazie mikroskopowym soli geodynamicznie zmienionych i soli z lustra tektonicznego zaobserwowano również efekty migracji roztworów (rys. 8B). Proces ten odbywa się

poprzez przemieszczanie się inkluzji. Stwierdzono, że szczególnie podatne na migrację są inkluzje duże o wielkości powyżej 10 mikrometrów. Ponadto, generalnie tempo migracji rośnie ze wzrostem temperatury, jednak znaczący wpływ ma także naprężenie, które znacznie ją przyspiesza, powodując tym samym obniżenie temperatury koniecznej do rozpoczęcia migracji (Roedder, Belkin 1979). Inkluzje ciekłe migrują w kierunku wyższego gradientu termicznego, natomiast gazowe w stronę niższych temperatur. Jeśli inkluzje są dwufazowe, a gaz stanowi więcej niż 10% objętości inkluzji, migracja odbywa się w dwóch kierunkach jednocześnie (Wilcox 1969). Duże inkluzje mają zdolność migracji przy niskim gradientie termicznym, natomiast małe potrzebują wysokich temperatur (Oleander i in. 1982; Friedman i in. 1982). Przykłady takiej migracji obecne są w analizowanych solach. Ze względu na zakres temperaturowy, jaki jest potrzebny do tego, aby nastąpiła migracja (powyżej 100°) (Roedder, Belkin 1979; Roedder 1979), w solach mioceńskich tego typu proces mógł mieć miejsce tylko w czasie ruchów tektonicznych związanych z przebudową Karpat. Należy dodać, że proces migracji inkluzji odgrywa rolę także w zabliznianiu spękań (Friedman i in. 1982). Dzieje się tak, ponieważ spękania, powierzchni kliważu, czy granice ziaren stanowią barierę dla migrujących inkluzji.

6. Badania mikrotermometryczne inkluzji wtórnych

Badania mikrotermometryczne inkluzji w solach były dotychczas wykonywane głównie w celu określenia chemizmu roztworu, z jakiego krystalizowały sole. Pozwalały one uzyskać informacje na temat środowiska sedimentacji badanych soli. W tym przypadku przedmiotem analiz były inkluzje pierwotne wypełnione solanką.

Z punktu widzenia tektoniki interesujące są badania inkluzji wtórnych, które są rezultatem kruchych lub plastycznych deformacji. Ich wyniki mogłyby posłużyć do określenia temperatury i ciśnienia procesu deformacji. Należy podkreślić, że cechą charakterystyczną inkluzji wtórnych w analizowanych preparatach soli badawczych jest zróżnicowany kształt, rozmiary oraz zmienne proporcje fazy ciekłej do gazowej. Różnorodność ta wiąże się z faktem, że większość obserwowanych inkluzji została zamknięta w wyniku procesu *necking down*, który jest głównym mechanizmem zablizniania spękań. Z kolei inkluzje występujące na granicach ziarn, wskazujące na proces migracji granic ziarn cechuje ta sama różnorodność. Oba wymienione typy inkluzji nie są dobrym materiałem do badań mikrotermometrycznych, ponieważ ich cechy powodują dużą różnorodność temperatur homogenizacji. Z tego względu nie pozwalają one jednoznacznie zdefiniować środowiska, w jakim zachodziła deformacja (Roedder 1984; Goldstein 2001).

Uważa się (Gaweł 1962; Tarka 1992), że sole trzaskające są związane ze strefami tektonicznymi. Występują one w łusce południowej złoża wielickiego, w czystych partiach soli spizowej dolnej kontaktując z utworami piaskowca w przeroście centralnym. Są one interesujące ze względu na silnie bitumiczny zapach oraz fakt, że podczas rozpuszczania w wodzie wydają charakterystyczne trzaski. W związku z tym już Gaweł (1962) wiązał te

trzaski z obecnością w tych solach węglowodorów. Hipotezę tę sprawdzono oglądając sole trzaskające w świetle ultrafioletowym. Zaobserwowano żółto-zieloną fluorescencję, która jest równoznaczna z zawartością węglowodorów.

W obrazie mikroskopowym w solach trzaskających można wyróżnić cztery rodzaje inkluzji:

- idealnie sześciennie inkluzje ciekłe, relikty szewronów,
- również sześciennie, ale o mniej regularnym kształcie, większe inkluzje (powyżej 0,1 mm) ciekło-gazowe (rys. 9A),
- wydłużone, małe (poniżej 0,05 mm) inkluzje ciekło-gazowe (rys. 9B),
- inkluzje będące wynikiem zablizniania spękań.

Interesujące w badaniach mikrotektoniki są druga i trzecia grupa inkluzji, które zawierają fazę płynną i gazową w jednakowych proporcjach. Inkluzje te podgrzewano w dwojaki sposób: powoli w tempie 0,5°C na minutę oraz szybko w tempie 10°C na minutę. Niestety, przy obu metodach nie udało się uchwycić temperatury homogenizacji tych inkluzji, nawet przy temperaturze powyżej 400°C i uzyskać informacji, jakie węglowodory występują w tych solach. Powodem tego jest fakt, że przy szybkim podgrzaniu nawet tylko do temperatury 60°C następuje przeciekanie inkluzji. Natomiast przy wolnym podgrzewaniu przeciekanie co prawda nie występuje, ale inkluzje rozszerzają się w wyniku plastycznych deformacji (Roedder, Bodnar 1980). W związku z powyższym badania mikrotermometryczne nie są użyteczne przy badaniu inkluzji wtórnych w solach. Uwzględniając powyższe aspekty oraz dodając rozszerzanie się soli podczas ogrzewania i częste przeciekanie inkluzji (Roedder, Belkin 1979; Roedder 1979, 1984) można stwierdzić, że w badaniach inkluzji wtórnych, które mają posłużyć określeniu warunków deformacji opisana metoda nie może dostarczyć zadowalających rezultatów.

Podsumowanie

Reasumując, na podstawie przebadanych próbek soli ze złóż Bochnia i Wieliczka można wnioskować, że wpływ procesów tektonicznych, które działały na serię solną w okresie przebudowy Karpat i ich przedpola jest zauważalny nie tylko na ociosach kopalnianych, ale również w mikroobszarze. Wskazuje na to obecność licznych i różnorodnych szeregów inkluzji ciekłych i ciekło-gazowych. Warunki sprzyjające procesom rekrytalizacji soli występują także obecnie i są związane ze zmianami w górotworze spowodowanymi eksploatacją.

LITERATURA

- Carter N.L., Hansen F.D., 1983 – Creep of rock salt. *Tectonoph.*, 92, 275–333.
- den Brok B., Zahid M., Passchier C.W., 1999 – Stress induced grain boundary migration in very soluble brittle salt. *Journ. of Struct. Geol.*, 21, 147–151.
- Friedman M., Dula M., Gangi A.F., Gazonas G.A., 1982 – Structural petrology of experimentally deformed synthetic rocksalt. W: First Conference on Mechanical Behavior of Salt. Pennsylvania State University.
- Gaweł A., 1962 – Budowa geologiczna złoża solnego Wieliczki, *Prace Inst. Geol.* 30, 3, 305–327.
- Goldstein R.H., Reynolds T.J., 1994 – Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. September short course 31, SEPM (Society for Sedimentology Geology), 1–196.
- Goldstein R.H., 2001 – Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems, *Lithos*, 55, 159–193.
- Goldstein R.H., 2002 – Petrographic analysis of fluid inclusions. In: Samson I., Anderson A., Marshall D., Fluid inclusion: Analysis and interpretation, Short-Course 32, 1–370.
- Kolasa K., Ślącza A., 1985a – Sedimentary salt megabreccias exposed in Wieliczka mine. Fore-Carpathian Depression. *Acta Geol. Polon.*, 35, 3–4, 221–230.
- Kolasa K., Ślącza A., 1985b – Uwagi o genezie wielickiego złoża soli. *Stud. i Mat. do Dziej. Żup Soln. w Pol.*, 14, 7–49.
- Ney R., Burzewski W., Bachleda T., Górecki W., Jakóbczak K., Słupczyński K., 1974 – Zarys paleogeografii i rozwoju litologiczno-facjalnego utworów miocenu zapadliska przedkarpackiego. *Prace Geol. PAN*, 82, 1–65.
- Oleander D.R., Machiels A.J., Balooch M., Yagnik J.K., 1982 – Thermal migration of brine inclusions in synthetic alkali halite single crystals, *Journ. Appl. Phys.*, 53, 1, 669–681.
- Passchier C.W., Trouw A.J., 2005 – *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin, 1–306.
- Poborski J., 1952 – Złoże solne w Bochni na tle geologicznym okolicy. *Biul. PIG*, 78, 1–60.
- Poborski J., Skoczylas-Ciszewska K., 1963 – O miocenie w strefie nasunięcia karpackiego w okolicy Wieliczki i Bochni. *Rocz. PTG.*, 33, 3, 340–347.
- Połowicz S., 1977 – Uwagi o rozwoju tektonicznym złóż soli kamiennej w Wieliczce i Baryczu. *Rocznik PTG* 47, 2, 279–299.
- Roedder E., 1979 – Fluid inclusion evidence on the environment of sedimentary diagenesis—a review. *Society of Exploration Paleontologists and Mineralogists Special Publication 26, Symposium on determination of diagenetic paleotemperatures*, 89–107.
- Roedder E., 1984 – Fluid inclusions in salt. *Americ. Mineral.* t. 69, 413–469.
- Roedder E., Bodnar R.J., 1980 – Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies. *Annual Reviews of Earth and Planetary Science*, 8, 263–301.
- Roedder E., Belkin H.E., 1979 – Petrographic study of fluid inclusions in salt core samples from Asse mine, Federal Republic of Germany. *United States Geological Survey Openfile Report 81–1128*, 1–32.
- Tarka R., 1992 – Tektonika wybranych złóż soli w Polsce na podstawie badań mezostrukturalnych. *Prace PIG*, 137, 27–39.
- Wiewiórka J., 1984 – Geologia wielickiego złoża solnego. W: *Praca zbiorowa, Wieliczka – solny skarb*. Krakowska Agencja Wydawnicza, Kraków, 15–18.
- Wiewiórka J., 1988 – Warunki geologiczne eksploatacji soli w żupach krakowskich, W: Jodłowski A. (red.), *Dzieje Żup Krakowskich*. Wydawnictwo Muzeum Żup Krakowskich, Wieliczka, 37–70.
- Wilcox W.R., 1969 – Anomalous gas-liquid inclusion movement. *Industr. and Engen. Chem.*, 61, 76–77.

**INKLUZJE W SOLACH KAMIENNYCH BOCHNIA I WIELICZKI
JAKO DOWÓD DEFORMACJI TEKTONICZNYCH?**

Słowa kluczowe

Mikrotektonika, deformacje kruche i plastyczne, wtórne inkluzje.

Streszczenie

Próbki do badań inkluzji pobrano w wyrobiskach kopalni Bochnia i Wieliczka, z miejsc o największym zaangażowaniu tektonicznym utworów. Z pozyskanego materiału do wykonania specjalnych szlifów mikroskopowych wytypowano sole włókniste, sole zmienione geodynamicznie, sole trzaskające i sole z lustra tektonicznego. Grube, polerowane dwustronnie płytki analizowano pod mikroskopem do światła przechodzącego, a także dla wybranych preparatów przeprowadzono badania mikrotermometryczne. We wszystkich badanych typach soli stwierdzono liczne ślady kruchych i plastycznych deformacji. Do pierwszej grupy można zaliczyć: mikrospeknięcia oraz powierzchnie ciekłych inkluzji zablizniające speknięcia, przebiegające skośnie do płaszczyzn wzrostu kryształów. Wśród śladów plastycznych deformacji można wymienić: obszary pozbawione inkluzji, ślady po migracji roztworów, obecność inkluzji na granicach ziaren. Analizie petrograficznej zostały poddane inkluzje wtórne, które powstają głównie w procesie zablizniania speknień. W badanych utworach inkluzje te charakteryzują się zróżnicowanym kształtem, rozmiarami oraz zmiennymi proporcjami fazy ciekłej do gazowej.

**INCLUSIONS IN SALT FROM BOCHNIA AND WIELICZKA MINES, SOUTH POLAND:
PROOF OF TECTONIC DEFORMATIONS?**

Key words

Microtectonics, brittle and ductile deformations, secondary inclusions

Abstract

Determination of inclusions origin conditions and time of entrapment provides information about crystal growth, its recrystallization and deformation history (Goldstein 2002). From tectonic point of view, the most interesting are the secondary inclusions, which were trapped after the stage of crystal growth as a result of fractures healing or during recrystallization process.

Samples for inclusions analysis were taken from the most tectonically disturbed parts of workings in Bochnia and Wieliczka salt mines. Thick sections were made of fibrous halite, geodynamically changed halite, crashing halite, and halite from slickensides. First, sections were studied under petrographic microscope, and then some of them underwent microthermometric analysis.

Many traces of brittle and plastic deformations were noticed in all mentioned types of halite. The first group includes microfractures and fluid inclusion planes, which are the result of fracture healing. However, plastic deformations are indicated by: areas without inclusions, traces of fluid migration, and the presence of inclusions on grains boundaries.

Fluid inclusion arrays which heal fractures may intersect each other, parallel to each other, or sometimes be curved. Properties of inclusions and their way of setting show that fractures were healed in necking down process (Roedder 1984).

Clear areas without inclusions are seen in all types of halite. They may result from pressure dissolution of earlier inclusion-rich halite and slow growth without inclusions (Roedder 1984).

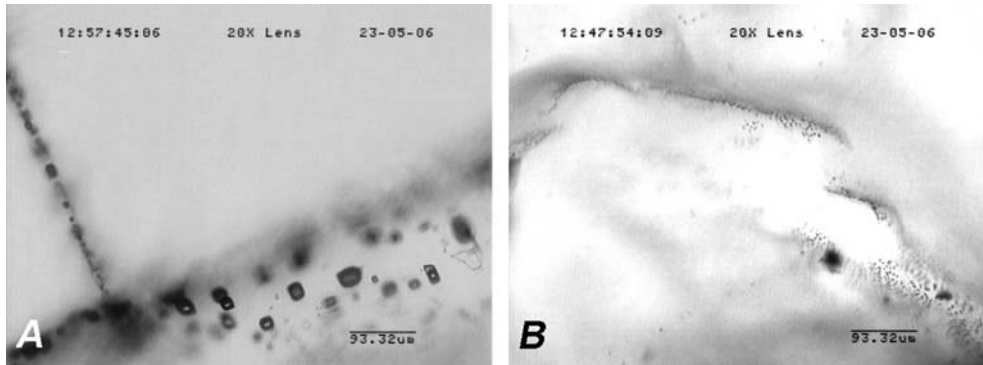
In fibrous halite there occur tubular fluid-gas inclusion planes on fibers boundaries. Healed fractures and disappearing of fiber boundaries in necking down process were also seen in this salt. Moreover necking down is observed in progress. Areas without inclusions prove that this salt underwent recrystallization.

In geodynamically changed salt, the groups of inclusions are visible on grain boundaries, which are elongated in one direction. They evidence halite dissolution and recrystallization (Roedder 1984), what can be connected with grain boundary migration. It is an important process during plastic deformations (den Brok et al 1999).

In microscopic images of all halite types, numerous pieces of evidence of fluid migration are visible. The mechanism of this migration is inclusion movements. Moreover, significant influence on this process is extended by strain. Its presence can accelerate inclusion migration (Roedder, Belkin 1979). However, healed fractures and grain boundaries are barrier for these movements, slowing down the migration.

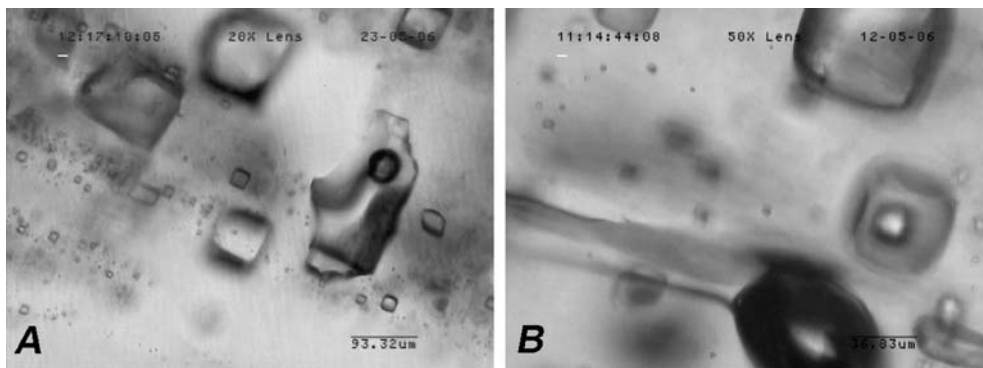
All types of secondary inclusions described above, are characterized by high diversity in shape, size and changeable fluid to vapor phase ratio. Hence, their homogenization temperatures are also differentiated. These facts prove that such inclusions can not be reliable source of information about deformation conditions (Roedder 1984; Goldstein 2001).

To conclude, the secondary inclusions studies revealed that the petrographic analysis may provide data concerning the history of salt deformations. Otherwise, the microthermometry of the secondary inclusions did not provide reliable information about deformation conditions.



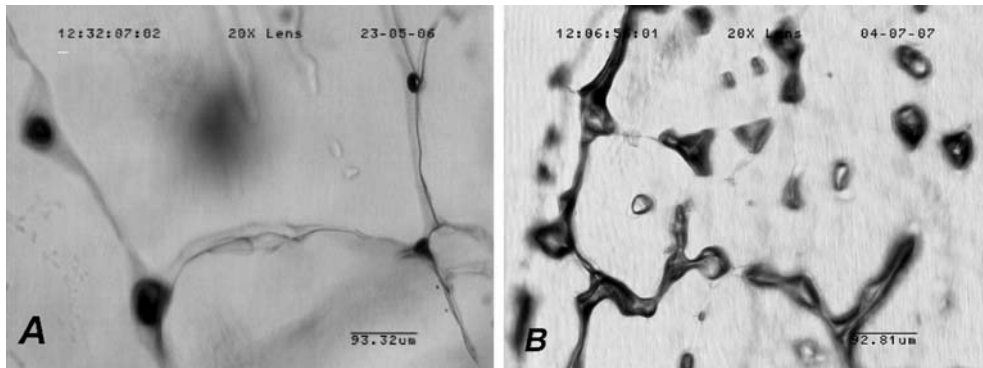
Rys. 3. Szeregi inkluzji w soli zlustrowanej
 A – krzyżujące się ze sobą, zablizniające spękania, B – łukowato wygięte

Fig. 3. Fluid inclusions arrays in halite from slickenside
 A – healing fracture and intersecting each other, B – curved arrays of fluid inclusions



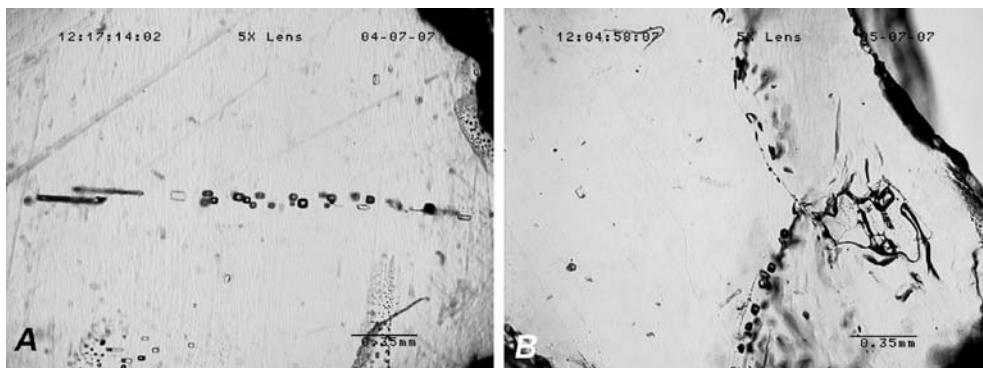
Rys. 4. Różnorodne kształty inkluzji
 A – sól trzaskająca, B – sól z lustra tektonicznego

Fig. 4. Diverse shapes of fluid inclusions
 A – crashing halite, B – halite from slickenside



Rys. 5. Proces *necking down* w trakcie, sól włóknista

Fig. 5. Necking down in progress, fibrous halite

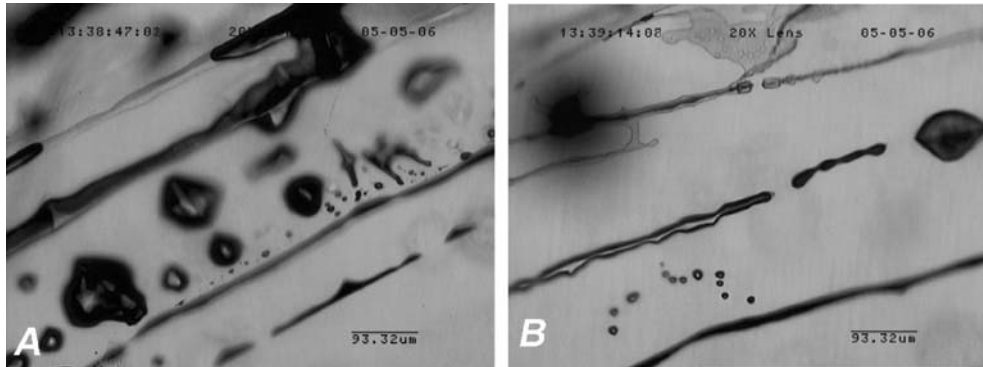


Rys. 6. Obszary pozbawione inkluzji

A – sól z lustra tektonicznego, B – sól zmieniona geodynamicznie

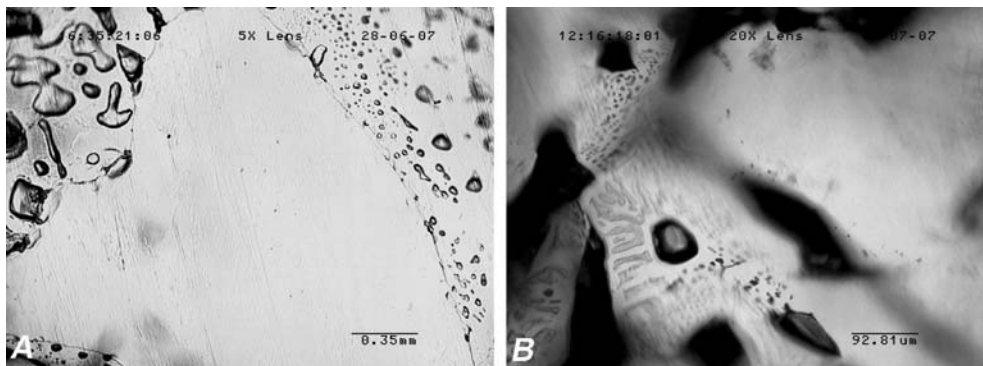
Fig. 6. Areas of pure halite without inclusions

A – halite from slickenside, B – geodynamically changed halite



Rys. 7. Rurkowate inkluzje na granicy włókien soli włóknistej

Fig. 7. Tubular inclusions on a border between two fibers of fibrous halite



Rys. 8. Inkluzje w soli zmienionej geodynamicznie
A – na granicach ziaren, B – ślady migracji roztworów

Fig. 8. Inclusions in geodynamically changed halite
A – on a border between grains, B – migration tracks

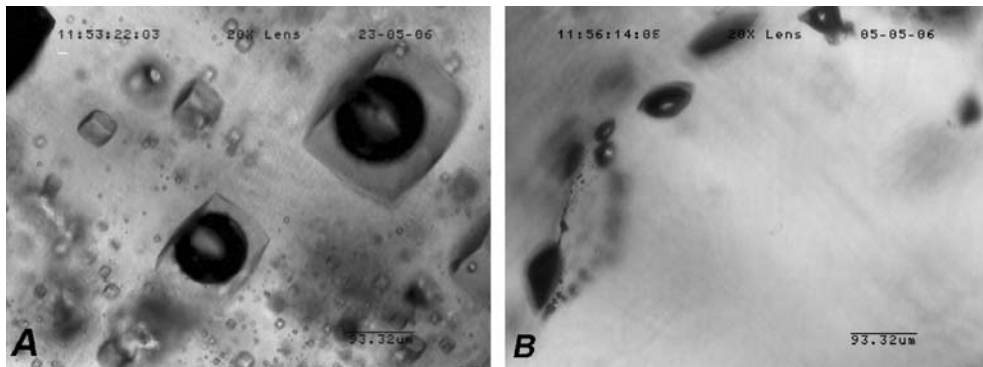


Fig. 9. Inkluzje w soli trzaskającej
A – sześciennie, B – o wydłużonym kształcie

Fig. 9. Inclusions in crashing halite
A – cubic, B – elongated