

## WSTĘPNE WYNIKI BADAŃ INKLUZJI FLUIDALNYCH Z NAJSTARSZEJ SOLI KAMIENNEJ Na1 W REJONIE GŁOGOWA (SW POLSKA)

### Fluid inclusions in the Oldest Halite (Na1) in Głogów area (SW Poland) – preliminary results

Tomasz TOBOŁA<sup>1</sup> & Andrzej MARKIEWICZ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Akademia Górniczo-Hutnicza; al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;*

*e-mail: tob@geolog.geol.agh.edu.pl*

<sup>2</sup>*KGHM CUPRUM sp. z o.o. Centrum Badawczo-Rozwojowe;*

*ul. gen. Wł. Sikorskiego 2–8, 53-659 Wrocław; e-mail: amarkiewicz@cuprum.wroc.pl*

**Treść:** Nowo odwiercony powierzchniowy otwór geologiczno-rozpoznawczy SS-15, wykonany w NW części złoża „Sieroszowice” dostarczył cennych informacji o wykształceniu najstarszej soli kamiennej (Na1) w tym rejonie. Obserwacje rdzenia wiertniczego wykazały, że w całym profilu Na1 generalnie wyróżnić można dwa typy soli kamiennej. Przeważają sole białe lub jasnoszare grubokrystaliczne i kryształowe o kryształach halitu sięgających do kilku centymetrów. W znacznie mniejszym stopniu występują sole różnokrystaliczne. Sposób wykształcenia obu typów, a przede wszystkim brak struktur sedimentacyjnych sugeruje znaczne przeobrażenia halitu.

W celu określenia stopnia zrekrystalizowania halitu w wytypowanych próbkach soli grubokrystalicznej i kryształowej przeprowadzono także obserwacje rozmieszczenia inkluzji fluidalnych. Wykazały one, że w kryształach halitu inkluzje fluidalne spotykane są stosunkowo rzadko, tworząc bardzo zmienne wykształcone zespoły. Większość inkluzji zgromadzona jest na granicach kryształów halitu. Skomplikowany układ jaki tworzą zespoły inkluzji potwierdza złożone i wieloetapowe przemiany, jakim ulegały skały solne.

**Słowa kluczowe:** monoklina przedsudecka, cechsztyń, najstarsza sól kamienna (Na1), inkluzje fluidalne, rekrystalizacja

**Abstract:** New bore-hole SS-15 drilled in NW part of “Sieroszowice” deposit provided precious information about oldest salt (Na1) in that region. Observations of the core revealed that two main types of salt may be distinguished. The white or light grey, coarse-grained and crystal-grained salts with size of halite crystals reaching few cm prevailed in the entire profile. The vari-size grained salt occur much more rare. The lack of sedimentary structures in both types of salts indicates considerably alteration of halite.

In order to characterize degree of recrystallization of halite, observation of fluid inclusion was carried out in selected samples of coarse-grained and crystal-grained salts. They revealed that fluid inclusions rarely occur and form very diverse fluid inclusion assemblages. Most fluid inclusions occur on the boundaries of halite crystals. Complicated system of the FIA occurrences confirms complexity and multistage transformations which underwent the salt rocks.

**Key words:** Fore-Sudetic Monocline, Zechstein, the Oldest Salt (Na1), fluid inclusions, recrystallization

## WSTĘP

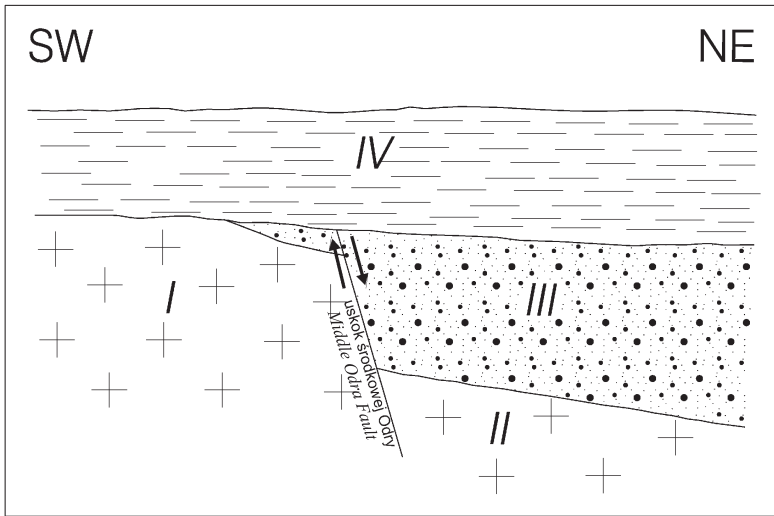
W trakcie dokumentowania złóż rud miedzi w SW części monokliny przedsudeckiej w utworach cechsztynu udokumentowane zostało także występowanie najstarszej soli kamiennej (Na1). Wyniki pierwszych wierceń stały się przesłanką do stwierdzenia, że budowa pokładu soli odznacza się prostym zaleganiem pierwotnych, niezdeformowanych utworów solnych. Dalszy rozwój badań opartych na nowych danych z otworów wiertniczych powierzchniowych oraz badań geofizycznych, jak również późniejsze obserwacje w wyrobiskach kopalnianych wykazały, że utwory solne uległy jednak znacznym deformacjom tektonicznym (m.in. Szybist 1976, Kijewski & Salski 1978, Markiewicz 2003, 2007a, b, Markiewicz & Banaszak 2005, Banaszak *et al.* 2007, Burliga 2007). Dotychczasowe rozpoznanie stopnia zaangażowania tektonicznego poziomu najstarszej soli kamiennej (Na1) wskazuje, że odegrał on bardzo ważną rolę w przebudowie monokliny przedsudeckiej. Ze względu na własności mechaniczne soli, znacznie różniące się od skał podłoża i nadkładu, oraz plastyczne zachowanie tych utworów pod wpływem nacisków tektonicznych stanowiły one amortyzator sprzyjający wygasaniu uskoków w podłożu i jednocześnie generowaniu odrębnego układu blokowego w nadkładzie (Markiewicz 2007a).

Zaleganie najstarszej soli kamiennej w niewielkiej odległości ponad poziomem miedzionośnym stwarza możliwość jego zagospodarowania. W trakcie budowy kopalni „Sieroszowice” w połowie lat 70. XX w. powstały już plany wykonania w obrębie soli kamiennych „nadpoziomu” spełniającego funkcje pomocnicze przy wentylacji i klimatyzacji. Dalsze prace rozpoznawcze stały się podstawą szeregu opracowań i koncepcji pełniejszego zagospodarowania złoża solnego (*vide* Markiewicz 2003, 2007a, b, Markiewicz & Banaszak 2005, Banaszak *et al.* 2007).

Przy planowanej eksploatacji złoża niezbędne jest szczegółowe rozpoznanie tektoniki wewnętrznej pokładu solnego i zjawisk jej towarzyszących ze względu na bezpieczeństwo robót górniczych i racjonalne wykorzystanie złoża. Jednym z istotniejszych badań dostarczających cennych danych jest analiza petrograficzna połączona z obserwacjami inkluzji fluidalnych. Sposób rozmieszczenia inkluzji, ich kształt, stosunek fazy ciekłej do gazowej itp. dostarczają wielu cennych informacji o procesach przeobrażeń (m.in. Roedder 1979, 1984a, b, Roedder & Belkin 1980, 1981, Hardie *et al.* 1983, Lowenstein & Spencer 1990).

## ZARYS BUDOWY GEOLOGICZNEJ NW CZĘŚCI OBSZARU LGOM

Na podstawie licznych badań geologicznych oraz geofizycznych w budowie geologicznej rejonu Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego wyróżnione zostały cztery główne jednostki strukturalne (Fig. 1). Dwie z nich, tj. blok przedsudecki i podłoże monokliny, zbudowane są z utworów metamorficznych i magmowych wieku proterozoicznego oraz paleozoicznego. Pozostałe dwie utworzone głównie ze skał osadowych stanowią monoklinę przedsudecką i pokrywę kenozoiczną (Tokarski 1958, Tomaszewski 1963a, b). Poszczególne jednostki rozdzielone są lukami stratygraficznymi z dyskordancjami kątowymi i erozyjnymi. Blok przedsudecki oddzielony jest od monokliny przedsudeckiej regionalną dyslokacją tektoniczną przebiegającą w kierunku NW-SE, określaną jako strefa środkowej Odry (Oberc 1967, 1972).



**Fig. 1.** Schematyczne rozmieszczenie jednostek strukturalnych na obszarze przed-sudeckim (wg Tokarskiego 1958): I – blok przed-sudecki, II – krystaliczne podłoże monokliny, III – skały osadowe monokliny przed-sudeckiej, IV – kenozoiczna pokrywa bloku przed-sudeckiego i monokliny przed-sudeckiej

**Fig. 1.** Schematic setting of main structural unit on the Fore-Sudetic area (after Tokarski 1958): I – Fore-Sudetic Block, II – crystalline basement of Fore-Sudetic Monocline, III – Sedimentary rocks of Fore-Sudetic Monocline, IV – Cenozoic cover of Fore-Sudetic Block and Fore-Sudetic Monocline

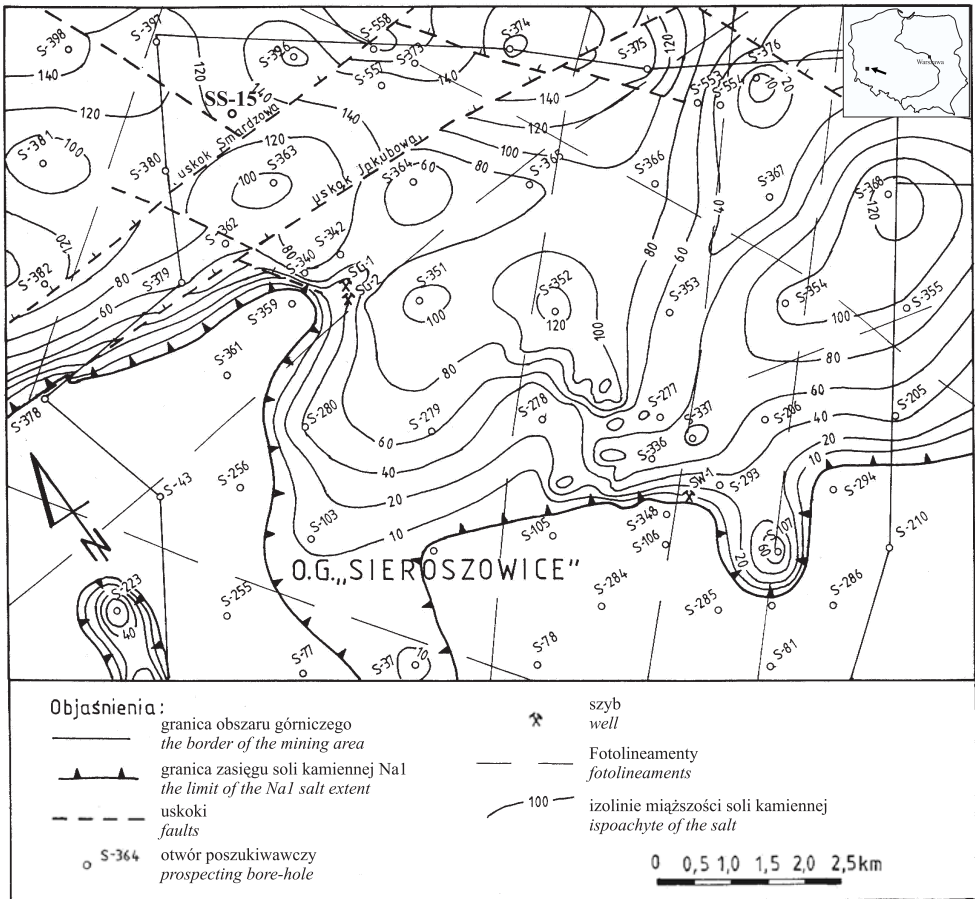
Kompleks utworów permsko-mezozoicznych wchodzących w skład monokliny przed-sudeckiej (Fig. 1) zbudowany jest z utworów permu i triasu.

Perm wykształcony jest w postaci osadów czerwonego spągowca (lądowych) oraz cechsztynu (morskich). Czerwony spągowiec osiąga maksymalnie ok. 400 m. W jego spągowej partii wydziela się serię osadową dolną (zlepieńce i piaskowce brunatne) oraz wyżej leżą formację wulkanogeniczną (ryolity, melafiry, bazalty i skały piroklastyczne). Zasadniczą litofacją górnej formacji jest asocjacja klastycznych skał czerwonych (piaskowce drobno- i średnioziarniste), lokalnie podścielona zlepieńcami. W stropie utworów tej grupy powszechnie występują utwory białego spągowca wykształcone w postaci jasnoszarych i szarych piaskowców drobnoziarnistych (Sokołowski 1967). Strefa graniczna pomiędzy utworami lądowymi czerwonego spągowca i utworami morskimi cechsztynu (granica między dolnym i górnym permem) charakteryzuje się bogatą mineralizacją miedziową.

Cechsztyn reprezentowany jest przez utwory czterech cyklotemów solnych tworzących sekwencje terygeniczo-węglanowo-ewaporatowe (Szybist 1976) o miąższości do ok. 300 m w północnej części LGOM.

Pierwszy cyklotem solny (PZ1) o największym znaczeniu przemysłowym posiada zmienną miąższość uwarunkowaną głównie obecnością lub brakiem soli Na1. W pełnym wykształceniu reprezentowany jest, idąc od dołu ku górze, przez następujące jednostki litostratygraficzne: łupkę miedzionośny (T1), wapień cechszyński (Ca1), anhydryt dolny (A1d), najstarsza sól kamienna (Na1), anhydryt górny (A1g). Poziom najstarszej soli kamiennej występuje w N i NW części LGOM w tym w środkowej i N części obszaru górniczego

„Sieroszowice I” (Fig. 2) tworzy on nieregularny pokład o biegu zbliżonym do kierunku WNW-ESE i generalnym upadzie ku NE pod kątem 3–8° (lokalnie do 15°). Jego miąższości generalnie wzrasta w kierunku NE, przy czym rozpoznanie w kat. A + B stwierdza poważne jej zróżnicowanie. Wyniki profilowań rdzeni wiertniczych, badań laboratoryjnych i obserwacje dołowe w złożu soli Na1 „Kazimierzów” pozwalają wyróżnić następujące odmiany soli: sól laminowaną anhydrytem, sól z przerostami anhydrytu, sól z gruzełkami i okruchami anhydrytu, sól kruchą i sól wielkokrystaliczną (Markiewicz 2003). To zróżnicowanie petrograficzno-mineralogiczne soli Na1 warunkowane było w znaczący sposób przez deformacje tektoniczne, co przekłada się na lokalne, poważne zmiany jej struktury i jakości (Kijewski & Salski 1978, Markiewicz 2003, Markiewicz & Banaszak 2005).



**Fig. 2.** Mapa izopachytowa najstarszej soli kamiennej Na1 w OG „Sieroszowice” (z lokalizacją otw. SS-15)

**Fig. 2.** Isopachous map of the Oldest Salt (Na1) on mining area “Sieroszowice” (with location of bore-hole SS-15)

W południowej części obszaru górniczego „Sieroszowice I”, na południe od nieregularnej granicy występowania soli Na1 (Fig. 2), w obrębie anhydrytów cyklotemu PZ1 udokumentowano horyzont brekcji ilasto-anhydrytowej (BrA1) o miąższości kilku metrów (maks. ok. 5 m). Brekcja ta jest „spawem tektonicznym” powstałym w trakcie plastycznego usunięcia soli lub/i jej rozpuszczenia, które zachodziły głównie w reżimie kompresyjnym (Markiewicz 2007a, c).

Trzy pozostałe cyklotemy solne są wykształcone niekompletnie i reprezentowane przez zespół naprzemianległych warstw utworów terygeniczych, węglanowych i siarczanowych.

Powyżej utworów cechsztynu w NW części obszaru LGOM występują utwory mezozoiczne młodsze od wapienia muszlowego. Związane jest to z erozją młodszych utworów i zróżnicowaniem ich wykształcenia na kierunku SW-NE. Trias o łącznej miąższości do ok. 650 m reprezentowany jest przez pstry piaskowiec dolny, środkowy i górny (ret).

Kompleks osadów kenozoicznych (nadkład monokliny) w omawianym rejonie zalega dyskordantnie na osadach mezozoicznych. Te luźne utwory tworzą jednolitą pokrywę o miąższości 400–500 m, stanowiąc najpełniej wykształcony profil osadów tego wieku w Polsce Zachodniej (Dyjur 1978). W obrębie nich można wyróżnić utwory: oligocenu, miocenu, plioceńsko-preglacjalne, plejstocenu i holocenu. Stropowa część tych utworów intensywnie i głęboko zaburzona glacitektonicznie tworzy Wzgórza Dalkowskie (Markiewicz & Kraiński 2002).

Rozpoznanie wiertnicze w kat. C1 obszaru LGOM wykazuje, że uskoki o kierunkach zbliżonych do NW-SE i W-E stanowią zasadnicze systemy dyslokacji na omawianym obszarze (Salski 1996, Markiewicz 2007c). Górnicze rozpoznanie złoża rud miedzi w kat. A + B ujawnia strefowe zróżnicowanie tych uskoków pod względem ich orientacji, gdyż w południowej strefie złożowej dominują kierunki tektoniczne NW-SE, w części centralnej ujawnia się wyraźnie kierunek „równoleżnikowy”, a w północnej strefie złożowej zauważa się dodatkowy współdziałal uskoków o rozciągłości „południkowej” (Markiewicz 2007b, c).

Badania strukturalne w szybach SG-1 i SG-2 kopalni rud miedzi „Polkowice-Sieroszowice” (Markiewicz & Mantke 1990) oraz wyniki profilowań sejsmicznych w rejonie projektowanych szybów SW-4 i GG-1 (Markiewicz *et al.* 2005b, Gierszewska 2007) dokumentują pod przedmiotową częścią Wzgórz Dalkowskich inwersję w obrębie naskórkowej struktury monokliny przedsudeckiej. Laramijskie wyniesienie tektoniczne sztywnego nadkładu soli Na1 zaznacza się głównie na uskokach NW-SE oraz „równoleżnikowych” w ramach strefy dyslokacyjnej Jakubowa, która w miedziowym poziomie złożowym tworzy szeroką i złożoną strukturę transtensyjną (Markiewicz *et al.*, 2005b). Natomiast wyniki badań grawimetrycznych, elektrooporowych i teledetekcyjnych (Dąbrowski 1980, Graniczny *et al.* 1991, Cieśla *et al.* 1997, Markiewicz *et al.* 2004, 2005a) wykazują, że od północy i wschodu (w rejonie Głogowa) teren ten sąsiaduje z triasowymi strukturami rowowymi o biegu NW-SE i NNE-SSW. Do reaktywacji tych struktur dochodziło w trakcie ruchów tektonicznych zachodzących od górnego oligocenu do miocenu, kiedy w trakcie wzmożonych nacisków od południa dochodziło m.in. do odkłucia na granicy sól/anhydryt i reaktywacji wcześniej założonych uskoków inwersyjnych (Markiewicz 2007a). Niewątpliwie ten układ blokowo-uskokowy górnopermsko-mezozoicznego piętra monokliny ulegał reaktywacji w plejstocenie w trakcie kolejnych okresów glacji i deglacacji w wyniku ruchów

glaciatrogenicznych, jak również w strefie czołowej lądolodów pod wpływem wytwarzanego przez nie zróżnicowanego obciążenia statycznego na podłoże tzw. ruchów „klawiszowych” (Markiewicz 1995). Miało to kluczowe znaczenie w powstaniu rynien subglacialnych (Markiewicz 1999) i glacidepresji w obrębie obecnej pradoliny głogowsko-baryckiej, oraz strefy głębokich deformacji glacitektonicznych w obrębie wzgórz Dalkowskich (Markiewicz & Kraiński 2002, Markiewicz 2003, 2006a, b, Markiewicz & Winnicki 2005, 2007a, b). Natomiast obecne, zróżnicowane ruchy obniżające w ramach naskórkowej struktury sztywnego podłoża kompleksu kenozoicznego warunkują współczesny drenaż rzeczny tej części Środkowego Nadodrza (Markiewicz & Piotrowski 1999, Markiewicz 2004) oraz ruchy wynoszące w obrębie Wzgórz Dalkowskich (Markiewicz & Kraiński 2007).

## WYKSZTAŁCENIE NAJSTARSZEJ SOLI KAMIENNEJ (Na1) W PROFILU OTWORU SS-15

Powierzchniowy otwór geologiczno-rozpoznawczy SS-15, wykonany w 2008 r. w ramach realizacji programu prac rozpoznawczych złoża rud miedzi (Markiewicz *et al.* 2006), usytuowany jest w północno-zachodniej części LGOM (w NW rejonie obszaru złożowego „Sierszowice”) na obszarze Wzgórz Dalkowskich w rejonie miejscowości Bukwica ok. 5 km na SW od miasta Głogów. Położony jest on w strefie uskoku Smardzowa (Fig. 2). Omawiany otwór odwiercony do głębokości 1210 m p.p.t. dostarczył wielu cennych danych dotyczących wykształcenia utworów cechsztyńskich, w tym najstarszej soli kamiennej (Na1).

Nawiercona otworem SS-15 najstarsza sól kamienna (Na1) osiąga miąższość 147.7 m. Od góry kontaktuje z anhydrytem górnym (A1g), który w bezpośrednim kontakcie z solą posiada charakter brekcjowaty z dużą zawartością materiału ilastego. W sągu sól kamienna zalega na utworach anhydrytu dolnego (A1d) o strukturze smugowanej.

Sól kamienna Na1 makroskopowo wykazuje stosunkowo monotonne wykształcenie. W całym profilu generalnie można wyróżnić dwa główne jej typy (Fig. 3), różniące się przede wszystkim pod względem cech strukturalnych, a w mniejszym stopniu teksturalnych. Dominującym typem są sole grubokrystaliczne i kryształowe zajmujące około 80% miąższości całego profilu. Posiadają one teksturę zbitą, masywną, a w obrębie profilu nie uwiadczenia się warstwowanie. Charakteryzują się one obecnością licznie występujących dużych fenokryształów halitu, często o rozmiarach do kilku centymetrów, rozmieszczonych w grubokrystalicznym cieście skalnym (Fig. 4). Sole te najczęściej posiadają zabarwienie białe, miejscami jasnoszare, przy czym bardzo często, nawet na odcinkach o miąższości do 2–3 m, zabarwienie nie ulega zmianom. Budujące je kryształy halitu posiadają na ogół zarysy ksenomorficzne. Szczególnie odnosi się to do mniejszych osobników, które wykazują wyraźnie obłe, owalne, nieregularnie powyginane granice tak, że często kryształy są poprzerastane. Duże kryształy halitu wykazują częściej regularne kształty. Ich granice są bardziej prostolinijne, przy czym na kontakcie z mniejszymi kryształami stają się faliste. Charakterystyczną ich cechą są wyraźnie zaokrąglane naroża. Zarówno duże, jak i mniejsze kryształy halitu makroskopowo są czyste, przezrocyste. Dopiero obserwacje pod lupą binokularną ujawniają obecność wrostków anhydrytu oraz rzadko pojawiające się inkluzje fluidalne.

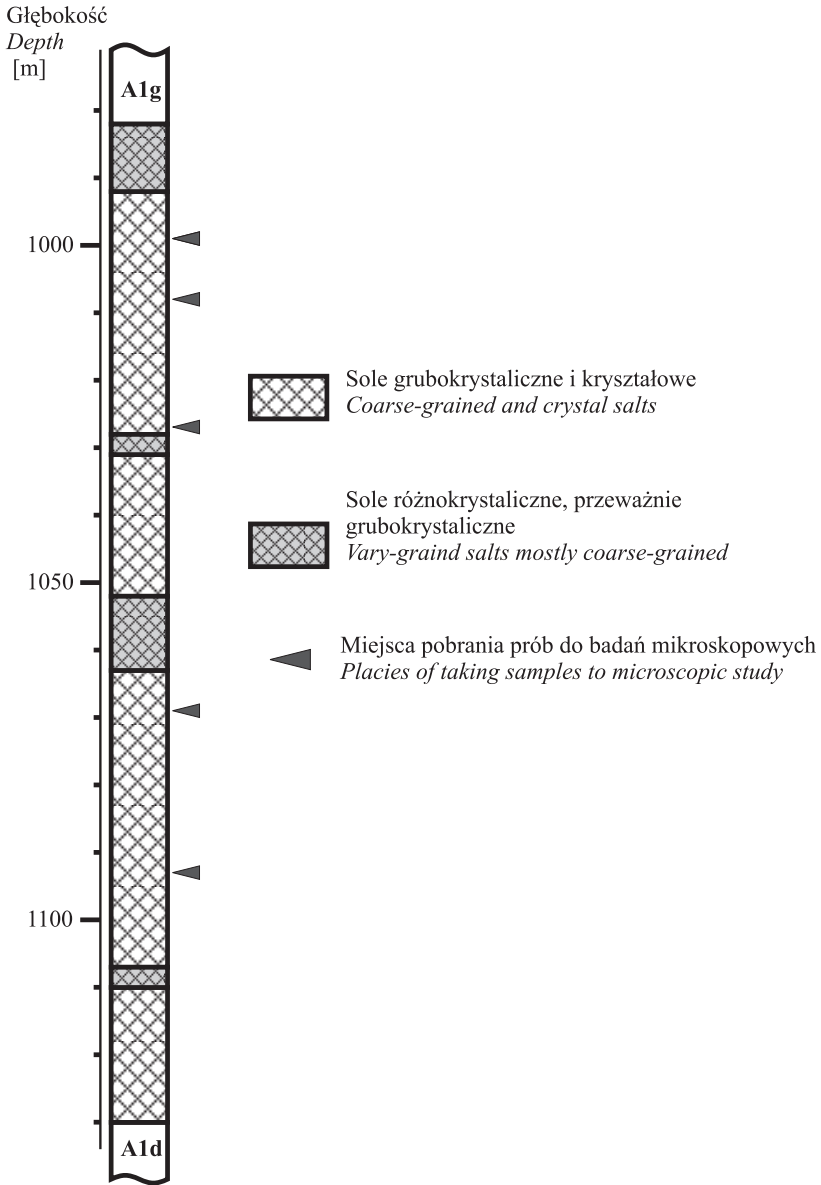


Fig. 3. Główne typy litologiczne skał solnych w profilu najstarszej soli kamiennej (Na1)

Fig. 3. The main lithologic types of rock salts in profile of the Oldest Salt (Na1)

W próbkach tych soli spotykane są niekiedy plamiste skupienia lub wydłużone smugi o nieco ciemniejszym zabarwieniu (Fig. 5). Zbudowane są one z drobniejszych, bardziej zmętniałych kryształów halitu. Obserwacje pod lupą binokularną ujawniają dużą domieszkę bardzo drobnych kryształów anhydrytu.



**Fig. 4.** Sole grubokrystaliczne i kryształowe  
**Fig. 4.** Coarse-grained and crystal-grained salts



**Fig. 5.** Duże kryształy halitu w solach grubokrystalicznych i kryształowych z nieregularną smugą o ciemniejszym zabarwieniu złożoną z drobniejszych kryształów halitu  
**Fig. 5.** Big halite crystals in coarse-grained and crystal-grained salts with irregular, grey streak consist of smaller halite crystals

W niektórych fragmentach profilu soli grubokrystalicznych i kryształowych zabarwienie staje się szare, a nawet niekiedy ciemnoszare (Fig. 6). Odcinki te, o miąższości od kilkunastu do kilkudziesięciu centymetrów, charakteryzują się mniejszą ilością lub całkowitym

zanikiem dużych kryształów halitu. Najczęściej są to sole średniokrystaliczne miejscami przechodzące w grubo- lub drobnokrystaliczne o kryształach halitu wykształconych ksenomorficznie z wyraźnie obłymi granicami. W przewarstwieniach tych można zaobserwować kilkucentymetrowej miąższości, słabo zaznaczające się strefy zbudowane z wydłużonych ziarn halitu „wrzecionowatych” (struktura SC – Markiewicz 2003). Ich kąty zapadania są niewielkie i wahają się od kilku do kilkunastu stopni. Strefy tych soli łatwo rozsypliwych o strukturze „wrzecionowatej” posiadają na ogół nieco ciemniejsze zabarwienie.



**Fig. 6.** Sole drobno- i średniokrystaliczne z wydłużonymi kryształami halitu

**Fig. 6.** Fine-grained and middle-grained salts with elongated crystals of halite

Kontakt pomiędzy solami białymi i jasnoszarymi a szarymi jest bardzo rozmyty i odznaczający się stopniową zmianą zabarwienia na długości dochodzącej do kilkunastu centymetrów. Towarzyszy mu stopniowy wzrost wielkości kryształów halitu i częstsze występowanie fenokryształów.

Drugi typ w profilu soli najstarszych (Na1) stanowią sole różnokrystaliczne, w przewadze średnio- i grubokrystaliczne. Występują one w formie pięciu warstw o miąższościach od około 2 do 11 m (Fig. 3). W odróżnieniu do pierwszego typu nie zawierają one większych kryształów halitu. Ich zabarwienie zmienia się od jasnoszarego po intensywnie szary, niekiedy prawie czarny. W niektórych częściach stają się białe i bardziej grubokrystaliczne z pojedynczymi kryształami halitu o rozmiarach dochodzących do około 1 cm. Generalnie obserwowane są w ich profilach częstsze zamiany zabarwienia niż w solach pierwszego typu. Daje to wrażenie, że sole te są smugowane o granicach pomiędzy poszczególnymi odmianami barwnymi wyraźnie rozmytych i nieostrych.

Pod względem strukturalnym sole te są bardzo podobnie wykształcone do przerostów soli szarych w solach grubokrystalicznych i kryształowych. Posiadają one także zarysy ksenomorficzne i wyraźnie obłe granice ziarn. Często spotyka się w ich obrębie fragmenty o wydłużonych ziarnach halitu.

## METODYKA BADAŃ

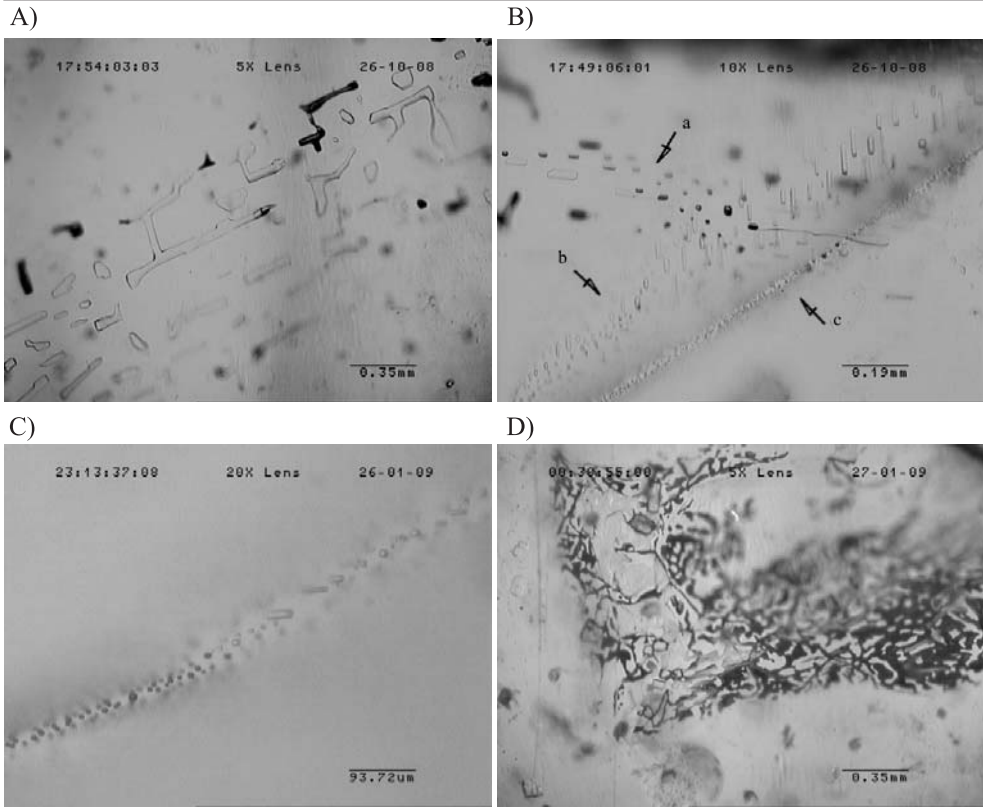
W trakcie obserwacji rdzenia wiertniczego otworu SS-15 do badań laboratoryjnych pobrane zostały 33 próbki z najstarszej soli kamiennej (Na1). Próbki te następnie poddano makroskopowym badaniom petrologicznym przy użyciu lupy binokularnej o maksymalnym powiększeniu 125×. Do dalszych badań laboratoryjnych (mikroskopowych) wytypowano sześć próbek reprezentujących najczęściej spotykane odmiany skał solnych z typu pierwszego, tj. soli grubokrystalicznych i kryształowych. Z każdej z próbek wykonano po kilka preparatów o różnej orientacji w stosunku do osi rdzenia. Preparaty te wykonywano w dwójki sposób. Z dużych kryształów halitu preparaty otrzymywano w wyniku rozłupowania wzdłuż płaszczyzn łupliwości na płytki o grubościach od 0.5 do 1.5 mm. W przypadku otrzymanych grubszych płytek, szlifowano je na sucho na zestawie papierów ściernych a następnie polerowano. Natomiast fragmenty skał zbudowane z mniejszych kryształów halitu cięto na pile wolnoobrotowej na płytki o grubości od 0.5 do 1.5 mm, a następnie polerowano.

## PETROLOGICZNA CHARAKTERYSTYKA INKLUZJI W SOLACH KAMIENNYCH GRUBOKRYSTALICZNYCH I KRYSTAŁOWYCH

We wszystkich analizowanych preparatach mikroskopowych reprezentujących próbki soli grubokrystalicznych i kryształowych pochodzących z różnych odcinków profilu soli najstarszych (Na1) skały solne wykazują wspólne cechy pod względem wykształcenia halitu oraz rozmieszczenia inkluzji fluidalnych i wrostków anhydrytu. Obserwacje preparatów wykazały charakterystyczne rozmieszczenie zespołów inkluzji oraz bardzo dużą ich różnorodność pod względem rozmiarów i kształtów.

W dużych fenokryształach halitu szeregi inkluzji są rzadkie i rozmieszczone w sposób bardzo nierównomierny. W przeważającej części kryształy te pozbawione są zespołów inkluzji fluidalnych, a jedynie w niektórych fragmentach dają się zaobserwować częstsze ich nagromadzenia. Wykazują one przy tym dużą różnorodność pod względem wielkości i kształtów tworzących je inkluzji. Ze względu na rozmiary inkluzji wyróżnić można kilka typów zespołów, pomiędzy którymi występuje szereg stadiów pośrednich.

Jednym z częściej występujących w dużych kryształach halitu zespołów są szeregi zbudowane są z dużych inkluzji (Fig. 7A). Zespoły te wykazują przebiegi prostolinijne i obejmujące cały kryształ halitu. Tworzące je inkluzje osiągają rozmiary niejednokrotnie przekraczające 0.5 mm i kształty nieregularne, na ogół silnie wydłużone w kierunku przebiegu całego zespołu. Bardzo duże inkluzje często wykazują cechy charakterystyczne dla procesu *necking down*. Występujące w zespołach inkluzje w większości przypadków wypełnione są całkowicie fazą ciekłą. Rzadziej natomiast obserwuje się inkluzje zawierające dodatkowo także fazę gazową. W tych przypadkach udział proporcjonalny fazy gazowej do ciekłej jest bardzo zmienny. Niekiedy nawet obserwuje się pojedyncze inkluzje wypełnione prawie całkowicie fazą gazową. Charakteryzuje ją w obrazie mikroskopowym bardzo gruba, czarna obwódka. Podobnie wykształconą fazę gazową obserwowano w solach niebieskich wysadu kłodawskiego, co sugeruje obecność złożonego zespołu gazów (Weselucha-Birczyńska *et al.* 2008, Tobała & Weselucha-Birczyńska 2008).



**Fig. 7.** A) Zespół dużych inkluzji ciekłych (przezroczyste), niekiedy z dużym udziałem fazy gazowej (ciemne). B) Trzy różne wykształcone zespoły inkluzji: a – inkluzje z różną proporcją fazy gazowej do ciekłej o kształtach wydłużonych zgodnie z przebiegiem zespołu, b – inkluzje o stałej proporcji fazy gazowej do ciekłej o kształtach wydłużonych skośnie do przebiegu zespołu, c – zespół bardzo małych inkluzji. C) Zespół bardzo drobnych inkluzji. Z prawej strony obrazu występują inkluzje ciekłe, z lewej inkluzje z przewagą fazy gazowej. D) Zespół nieregularnych inkluzji wypełnionych fazą ciekłą i czarną nieprzezroczystą substancją o przebiegu zbliżonym do prostoliniowego z gwałtownymi zmianami kierunku rozprzestrzenienia

**Fig. 7.** A) Fluid inclusions assemblage consisted of large fluid inclusions (transparent) sometimes with great contents of gas phase (dark). B) Three different type of FIA: a – inclusions with various gas to fluid ratio and elongated shapes according to direction of FIA, b – inclusions with constant gas to fluid ratio and elongated shapes aslant to direction of FIA, c – FIA consist of very small inclusions. C) FIA consist of very small inclusions. On the right hand of picture occur fluid inclusions, on the left side occur gas inclusions. D) Assemblage of irregular inclusions filled with fluid and dark opaque substances with angular course

Drugim rodzajem często pojawiających się zespołów inkluzji są szeregi złożone z osobników o nieco mniejszych rozmiarach, mieszczących się w granicach od około kilkudziesięciu do ponad 100 µm (Fig. 7B). Tworzące je inkluzje posiadają kształty regularne, znacznie wydłużone, rurkowane. W zespołach tych dłuższe osie inkluzji ułożone są zawsze równoległe do siebie i najczęściej równoległe do przebiegu całego zespołu. W pojedynczych

przypadkach odnotowano skośne ułożenie ich osi do przebiegu całego szeregu. Inkluzje w tego typu zespołach przeważnie są ciekłe. Rzadziej spotykane są także inkluzje o różnej proporcji fazy ciekłej do gazowej. W jednym przypadku natrafiono na zespół inkluzji o stałej proporcji fazy gazowej do ciekłej. Zespoły tego typu inkluzji także wykazują przebieg prostoliniowy, obejmujący najczęściej cały kryształ halitu. W niektórych przypadkach ich przebieg zakończony jest w obrębie kryształu. W tych miejscach wówczas obserwuje się stopniowe zmniejszanie się rozmiarów inkluzji, a szczególnie osobników wydłużonych aż do całkowitego ich zaniku.

Trzeci typ zespołów inkluzji znacznie rzadziej spotykanych w dużych kryształach halitu tworzą inkluzje bardzo małe o rozmiarach rzędu kilku mikrometrów. Posiadają one kształty regularne, na ogół zbliżone do sześciennych. W niektórych fragmentach zespołów inkluzje są wydłużone niekiedy osiągając długość do 30  $\mu\text{m}$  (Fig. 7B, C). Wypełnione są one zazwyczaj albo całkowicie fazą ciekłą albo z bardzo wyraźną przewagą fazy gazowej. Rzadko natomiast jedynie w pojedynczych przypadkach obserwowane były to inkluzje ciekło-gazowe o zmiennych proporcjach poszczególnych faz.

Przebieg tego typu zespołów inkluzji jest na ogół bardzo krótki, sięgający kilku milimetrów, często falisty. Ich zakończenia charakteryzują się stopniowym zmniejszaniem rozmiarów inkluzji przy czym najczęściej w tych strefach występują inkluzje gazowe. Rzadziej spotyka się zespoły o przebiegu prostoliniowym. Wówczas są one znacznie dłuższe.

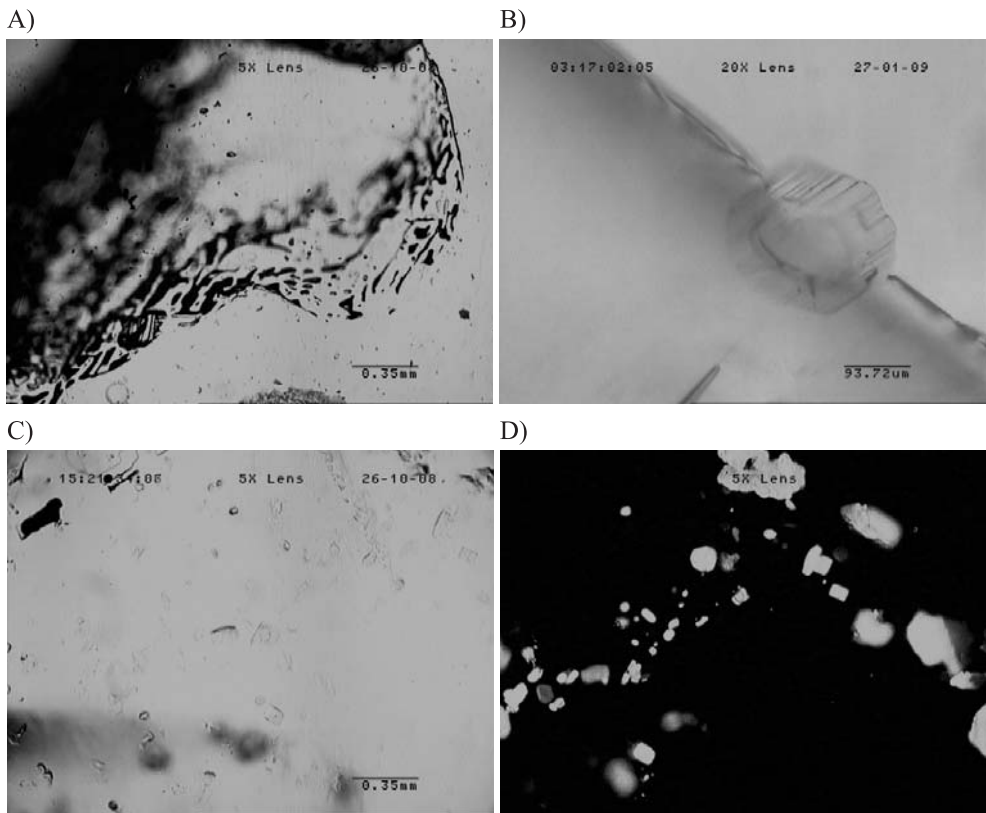
Czwarty typ zespołów inkluzji znacznie odbiega od powyższych zarówno pod względem przebiegu jak i kształtów tworzących je inkluzji. Rzadko są one spotykane w bardzo dużych kryształach halitu, częściej w nieco mniejszych i występujących w pobliżu obserwowanych makroskopowo szarych smug zbudowanych z drobnokrystalicznego halitu i anhydrytu. Zespoły te zbudowane są z inkluzji o bardzo nieregularnych i obłych kształtach nietypowych dla halitu (Fig. 7D, 8A). Wyróżnia je także silne spłaszczenie w kierunku prostopadłym do powierzchni całego zespołu, gdzie ich grubość może sięgać kilku mikrometrów. Zgodnie natomiast z przebiegiem zespołów inkluzje posiadają często rozmiary sięgające ponad 0.5 mm, a nierzadko też przekraczające 1 mm. W tych też kierunkach łączą się, tworząc gęstą sieć. Inkluzje te wypełnione są fazą ciekłą, gazową lub czarną nieprzezroczystą substancją trudną do identyfikacji.

Rozprzestrzenienie tego typu zespołów inkluzji w kryształach halitu jest bardzo zmienne. Na ogół są to szeregi o długości dochodzącej do kilku milimetrów. Ich przebieg jest stosunkowo nieregularny i najczęściej silnie zakrzywiony, pofalowany (Fig. 8A). Spotykane są także zespoły biegnące prawie prostoliniowo, po czym następuje ich ostre zakrzywienie pod kątem zbliżonym do prostego (Fig. 7D). W obu przypadkach kierunku wygięć i sposób ułożenia całych zespołów powoduje częściowe zamykanie przestrzeni kryształu. Może to sugerować, że tego typu inkluzje są reliktem pozostałym po granicach mniejszych kryształach halitu, które uległy rekrytalizacji. Wskazuje na to również sposób ich relacji z wrostkami anhydrytu. Zespoły te nie przecinają kryształów anhydrytu, lecz je opływają (Fig. 8B), co oznacza, że nie stanowią zabliźnionych spękań, lecz pozostałość po migracji granic ziarn.

Duże kryształy halitu w obrazie mikroskopowym w niektórych miejscach zawierają znaczną ilość wrostków anhydrytu (Fig. 8C, D). Ich wielkość waha się od około 20  $\mu\text{m}$  do

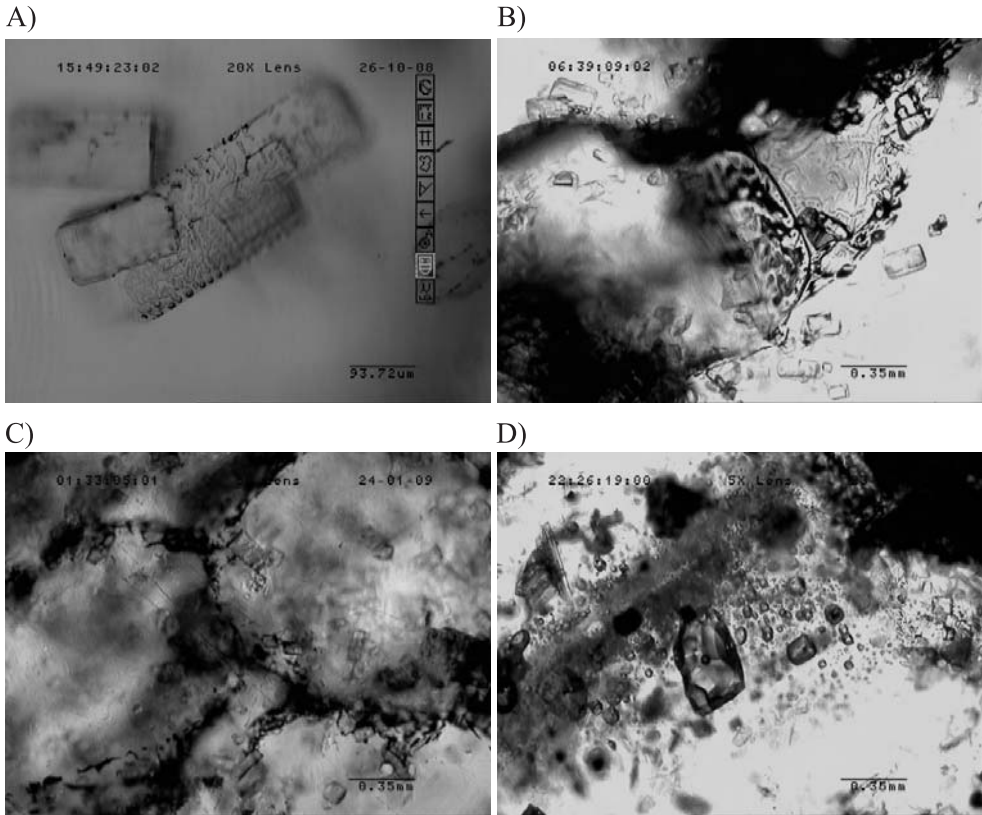
około 0.5 mm. Najczęściej wykazują one prawidłowe wykształcenie. Rozmieszczone są one w formie skupień i smug łączących się we wspólnym punkcie. Rzadziej występują one w formie pojedynczych bezładnie rozmieszczonych w obrębie kryształów halitu wrostków i na ogół posiadają mniejsze rozmiary.

W badanych próbkach wrostki anhydrytu wykazywały bardzo często na swoich powierzchniach dużą ilość inkluzji ciekłych (Fig. 9A). Na ogół są to inkluzje bardzo małe o wielkościach rzędu kilku mikrometrów. Miejscami na niektórych kryształach anhydrytu ich wielkość i ilość wzrastają tworząc gęstą sieć. Nie rzadko też inkluzje na kryształach halitu wypełnione są substancją nieprzezroczystą.



**Fig. 8.** A) Zespół nieregularnych inkluzji o falistym przebiegu wypełnionych fazą ciekłą i czarną nieprzezroczystą substancją. B) Kryształ anhydrytu na linii przebiegu zespołu inkluzji czwartego typu. C) Rozmieszczenie wrostków anhydrytu w dużych kryształach halitu (obraz w świetle przechodzącym). D) Ten sam obszar jak na figurze C przy NX

**Fig. 8.** A) Assemblage of irregular inclusions filled with fluid and dark opaque substances with wavy course. B) Anhydrite crystal located on the line of fourth type of FIA. C) Arrangement of inclusions of anhydrite inside large crystals of halite (transmitted light). D) The same area as figure C in the crossed nicols



**Fig. 9.** A) Inkluzje fluidalne na granicach wrostków anhydrytu. B) Inkluzje fluidalne na granicach mniejszych kryształów halitu pochodzących z tła skały. C) Obraz mikroskopowy w świetle przechodzącym szarych smug występujących w solach grubokryształicznych i kryształowych. D) Zespół inkluzji pierwotnych z pojedynczymi dużymi inkluzjami ciekło-gazowymi

**Fig. 9.** A) Fluid inclusions on the boundary of anhydrite inclusions. B) Fluid inclusions on the boundary of smaller halite inclusions. C) The microphotograph of the grey streaks occurring in the coarse-grained and crystal-grained salts. D) Primary FIA with single large fluid-gas inclusions

Mniejszych rozmiarów kryształy halitu, makroskopowo tworzące tło skały, w obrazie mikroskopowym wykazują pod względem rozmieszczenia inkluzji bardzo podobne cechy jak duże fenokryształy. Zawierają one niewielką ilość zespołów inkluzji, które pod względem rozprzestrzenienia, jak również wykształcenia budujących je inkluzji przypominają ww. trzy pierwsze typy występujące w bardzo dużych kryształach halitu. Główna masa inkluzji zawarta jest na granicach kryształów halitu, gdzie tworzy bardzo gęstą sieć nieregularnych inkluzji (Fig. 9B). Są one podobnie wykształcone jak w typie czwartym obserwowanym w dużych kryształach halitu, przy czym mają przeciętnie nieco większe rozmiary i są gęściej upakowane. Najczęściej wypełnione są czarną, nieprzezroczystą substancją lub fazą ciekłą.

Kryształy halitu w próbkach reprezentujących smugi szare pojawiające się w solach grubokrystalicznych i kryształowych wykazują w obrazie mikroskopowym mniejsze rozmiary (maksymalnie do kilku milimetrów). Przeważnie są one wykształcone ksenomorficznie, mają owalne, często nieco faliste granice. Często obserwuje się też charakterystyczny sposób ich kontaktowania się – tworzą punkt potrójny, z którego granice rozchodzą się pod kątem około  $120^\circ$ . Halitowi towarzyszy duża liczba wrostków anhydrytu (Fig. 9C) rozmieszczonego głównie w sąsiedztwie jego granic. Kryształy anhydrytu wykształcone są automorficznie i często otoczone są licznymi inkluzjami fluidalnymi.

Większość kryształów halitu na ogół pozbawiona jest całkowicie inkluzji fluidalnych. Występują one głównie na granicach halitu, tworząc zespoły bardzo podobne do obserwowanych na granicach większych kryształów halitu. W pojedynczych kryształach halitu stwierdzono występowanie zespołów inkluzji pierwotnych (Fig. 9D), które tworzą pasma o szerokości do kilku milimetrów. Inkluzje posiadają rozmiary od poniżej  $10\ \mu\text{m}$  do niekiedy ponad  $50\ \mu\text{m}$ . Są one prawidłowo wykształcone (inkluzje negatywne) i wypełnione fazą ciekłą. W większych inkluzjach, tj. przekraczających  $50\ \mu\text{m}$ , niekiedy pojawia się niewielki bąbelek fazy gazowej. W zespołach tych lub w ich bezpośrednim sąsiedztwie występują bardzo duże inkluzje, często przekraczające  $0.5\ \text{mm}$ , o nieregularnych kształtach. Zawierają one zawsze oprócz fazy ciekłej także fazę gazową (Fig. 9D). W większości przypadków pojawiają się też w nich kryształy anhydrytu, przy czym ich rozmiary są nieproporcjonalnie duże w stosunku do objętości cieczy w inkluzji, co wskazuje, że nie są to minerały potomne. W miejscach występowania pasm inkluzji pierwotnych sporadycznie pojawiają się wrostki anhydrytu. W przeciwieństwie do opisywanych powyżej kryształów anhydrytu charakteryzują się one zarysami hipautomorficznymi lub ksenomorficznymi.

## PODSUMOWANIE

Najstarsza sól kamienna (Na1) rozpoznana w otworze SS-15, który odwiercono w SW części monokliny przedsudeckiej (NW rejonie LGOM), makroskopowo wykazuje cechy charakterystyczne dla utworów solnych, które uległy znacznym przeobrażeniom. W całym ich profilu brak jest typowych tekstur skał solnych, jak pasiasta, laminowana itp., które wskazywałyby na sedymentacyjny charakter utworów (por. m.in. Garlicki 1968, 1979, Hardie *et al.* 1983, Sonnenfeld 1988, Warren 1999). Szczególnie odnosi się to do przeważających w profilu typów soli grubokrystalicznych i kryształowych, których wyraźna struktura porfirowa jest trudna do wyjaśnienia warunkami sedymentacyjnymi. W pozostałych partiach profilu, tj. w przerostach soli różnokrystalicznych, częstsze zmiany zabarwienia (smugowanie) mogą być pochodną pierwotnego warstwowania, lecz zawsze są one wyraźnie rozmyte (tzw. laminacja rozmyta – Markiewicz 2003). Stopień ich przeobrażeń wymaga dalszych szczegółowych badań mikroskopowych.

W solach tych stwierdzono także obecność niewielkich stref zbudowanych z wydłużonych, wrzecionowatych kryształach halitu. Utwory te uznawane za sole geodynamicznie zmienione spotykane są w strefach tektonicznych naprężeń ścinających (Toboła 1999, Markiewicz 2003). Ich położenie zaleganie wskazuje na prawie poziome, subhoryzontalne

ruchy tektoniczne, które w warunkach monokliny przedudeckiej związane są szczególnie z kompresją laramijską na kierunku NE (m.in. Markiewicz 2007a, b, c).

W obrazie mikroskopowym sole grubokrystaliczne i kryształowe wykazują bardzo skomplikowaną budowę pod względem wykształcenia halitu, rozmieszczenia wrostków anhydrytu a szczególnie układu inkluzji fluidalnych. Zaobserwowane cechy wyraźnie wskazują, że utwory te uległy głębokim i wieloetapowym przemianom metamorficznym i rekrystalizacyjnym. Świadczą o tym następujące wskaźniki petrologiczne:

- Zarysy kryształów halitu, które we wszystkich analizowanych fragmentach soli są ksenomorficzne, wyraźnie obłe. Ich granice posiadają kształty nieregularne, faliste, często w obrazie mikroskopowym stykają się w punkcie potrójnym, rozchodząc się następnie pod kątem około  $120^\circ$ . Tego typu kontakty między ziarnami wiązane są z rekrystalizacją halitu i migracją granic ziarn (m.in. Schleder & Urai 2005, 2007, Schleder *et al.* 2008).
- Bardzo liczne występowanie dużych fenokryształów halitu tkwiących w bardziej drobnokrystalicznej masie skalnej. Ich powstanie można wiązać z procesem migracji granic ziarn (den Brook *et al.* 1999, Passchier & Trouw 2005). Jak wykazały obserwacje laboratoryjne (den Brook *et al.* 1999) przeprowadzone na kryształach posiadających bardzo zbliżone do halitu własności fizykochemiczne i mechaniczne, wzrost pod wpływem ciśnienia może następować bardzo szybko w sprzyjających warunkach.
- Brak zespołów inkluzji pierwotnych typu szewron lub hopper wskazujących na sedymentacyjnych charakter utworów (m.in. Roedder 1979, 1984a, b, Hardie *et al.* 1983, Goldstein 2001, Schleder & Urai 2005, 2007, Schleder *et al.* 2007, 2008). Bardzo rzadko obserwowane w badanych utworach fragmenty z zachowanymi zespołami inkluzji pierwotnych są relikdami pozostałymi po pierwotnych strukturach. Ich występowanie jedynie w miejscach o dużej zawartości anhydrytu, tj. w smugach soli o szarym zabarwieniu sugeruje, że obecność tego minerału wywierała wpływ na procesy rekrystalizacji halitu powodując ich zahamowanie.
- W obrębie pojedynczych kryształów halitu generalnie rzadko spotykane są inkluzje fluidalne. W miejscach ich występowania tworzą one zespoły o typowo wtórnym pochodzeniu, na co wskazuje sposób ich rozmieszczenia oraz stosunek do osi krystalograficznych. Ich bardzo różne wykształcenie oraz zaburzenia w przebiegu wskazują, że musiały one powstać w wyniku różnych etapów ruchów tektonicznych, które zachodziły po przynajmniej częściowym uformowaniu się w wyniku rekrystalizacji kryształów halitu. Bardzo różne proporcje fazy gazowej do ciekłej oraz często obserwowany nieproporcjonalny duży udział fazy gazowej sugerują natomiast, że środowisko migracji było heterogeniczne (Goldstein & Reynolds 1994).
- Główna masa inkluzji zgromadzona jest na granicach kryształów halitu, gdzie tworzy charakterystycznie wykształcone gęste zespoły nieregularnych, silnie spłaszczonych inkluzji. Tego typu nagromadzenia inkluzji cechują utwory zrekrystalizowane i wskazują także na procesy migracji granic ziarn (m.in. Roedder & Belkin 1980, Roedder 1984b, den Brook *et al.* 1999, Schleder & Urai 2005, 2007). Podobnie wykształcone inkluzje zaobserwowano także w badaniach laboratoryjnych w trakcie rekrystalizacji i wzrostu kryształów (den Brook *et al.* 1999).

- Występowanie w przypadku fenokryształów halitu nietypowo wykształconych zespołów inkluzji wydzielonego czwartego typu, których ze względu na przebieg nie można zakwalifikować do inkluzji wtórnych lub pseudowtórnych powstających w wyniku „zarastania” spękań w kryształach ani też do zespołów inkluzji pierwotnych (m.in. Roedder 1979, 1984a, b, Roedder & Belkin 1981, Goldstein & Reynolds 1994). Wyraźne podobieństwo co do kształtów, medium wypełniającego oraz przebiegów do inkluzji występujących na granicach kryształów halitu wskazuje, że mogą to być inkluzje pierwotnie uformowane na granicach halitu w pierwszym etapie rekrystalizacji a w kolejnych etapach pochłonięte przez rosnący duży kryształ tego minerału. Wskazywałoby to zatem na wieloetapowość rekrystalizacji soli kryształowych.
- Na daleko posunięty proces rekrystalizacji wskazuje także wykształcenie wrostków anhydrytu. W miejscach gdzie proces rekrystalizacji nie wystąpił, tj. w halicie zawierającym inkluzje pierwotne, kryształy anhydrytu zawsze posiadają hipautomorficzne lub ksenomorficzne zarysy. W pozostałej części jest on przeważnie automorficzny, co wskazywałoby na rekrystalizację także anhydrytu.

Wyżej przytoczone wskaźniki petrologiczne soli oraz ich struktury wynikające z przeobrażeń dynamicznych i rekrystalizacji tych utworów rzucają nowe światło na wtórne przeobrażenia tych utworów. Procesy, które przyczyniły się do tych zmian związane są z wieloetapowym tektonicznym uaktywnieniem kompleksu utworów permsko-mezozoicznych południowej części monokliny przedsudeckiej. Kimeryjskie ruchy przyczyniły się m.in. do lokalnych sptywów grawitacyjnych soli i jej „wałkowania” (Markiewicz 2003, 2007a). Ponadto, szczególnie piętno w przeobrażeniu tych wyjątkowo podatnych utworów wywarły ruchy laramijskie na przełomie kredy i oligocenu, kiedy to niewątpliwie dochodziło do subhoryzontalnych ich przemieszczeń (m.in. Markiewicz 2003, 2007a), a w ostateczności do rozpuszczania z przepływem ługów i wtórną rekrystalizacją soli w warunkach ekstensji. Takie warunki miały miejsce w strefie pomiędzy Głogowem a Jakubowem (Markiewicz *et al.* 2005b, Markiewicz 2007c, Markiewicz & Kraiński 2007), gdzie występowała lokalna transtensja w poziomie dolnego permu oraz inwersja górnego permu i mezozoiku, czego odzwierciedleniem może być udokumentowana znaczna przebudowa środkowej i górnej partii profilu soli NaI w rejonie otworu SS-15.

*Praca finansowana z badań własnych AGH nr 10.10.140.680.*

## LITERATURA

- Cieśla E., Gientka D., Petecki Z., Staniszevska B., Twarogowski J., Wybraniec S. & Żółtowski Z., 1997. Kompleksowa interpretacja grawimetryczno-magnetyczna Polski Zachodniej. *Prace PIG* (archiwum), Warszawa, 1–58.
- Banaszak A., Garlicki A. & Markiewicz A., 2007. Budowa geologiczna złoża najstarszej soli kamiennej Kazimierzów w OG Sieroszowice I (kopalnia Polkowice-Sieroszowice). *Przegląd Solny, Kwartalnik Gospodarka Surowcami Mineralnymi PAN*, Wyd. IGSMiE, Kraków, 23, Spec. issue, 1, 9–20.

- Burliga St., 2007. Internal structure of subhorizontal bedded rock salt formation in the area of Sieroszowice, SW Poland – meso- and microstructural indication. *Przegląd Solny, Kwartalnik Gospodarka Surowcami Mineralnymi PAN*, Wyd. IGSMiE, Kraków, 23, Spec. issue, 1, 51–64.
- Dąbrowski A., 1980 System rowów trzeciorzędowych w obrazie grawimetrycznym. *Przegląd Geologiczny*, 23, 3, 169–172.
- den Brok B., Zahid M. & Passchier C.W., 1999. Stress induced grain boundary migration in very soluble brittle salt. *Journal of Structural Geology*, 21, 147–151.
- Dyjur S., 1978 Wykształcenie i stratygrafia utworów trzeciorzędowych na obszarze LGOM. *Przewodnik L Zjazdu PTG, Zielona Góra 24–26.09.1978*, Wyd. Geol., Warszawa, 210–214.
- Garlicki A., 1968. Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpacia między Skawiną a Tarnowem. W: *Z badań geologicznych w Karpatach*, 12, 215, 5–78.
- Garlicki A., 1979. Sedymentacja soli miocenijskich w Polsce. *Prace Geologiczne PAN*, 119, 1–67.
- Gierszewska D., 2007. Opracowanie badań sejsmicznych 2D dla projektowanego szybu GG-1 O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”. *Prace Geofizyka Toruń*, Toruń, 43.
- Goldstein R.H., 2001. Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems. *Lithos*, 55, 159–193.
- Graniczny M., Doktor S. & Kucharski R., 1991. Budowa geologiczna strefy waryscydów w podłożu monokliny przedsudeckiej dla określenia perspektyw ropo-gazonośności. Mapy korelacyjne teledetekcyjno-geofizyczne. *Archiwum PIG*, Warszawa, 1–38.
- Goldstein R.H. & Reynolds T.J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals. *SEPM Short Course*, 31, Tulsa, 1–199.
- Hardie L.A., Lowenstein T.K. & Spencer R.J., 1983. The Problem of Distinguishing Between Primary and Secondary Features in Evaporites. *Sixth International Symposium on Salt*, 1, 11–39.
- Kijewski P. & Salski W., 1978 Cechsztyńska sól kamienna cyklotemu Z1 w południowo-zachodniej części monokliny przedsudeckiej. *Geologica Sudetica*, 13, 1, Wrocław, 97–134.
- Lowenstein T.K. & Spencer R.J., 1990. Syndepositional origin of potash. *American Journal of Science*, 290, 1–42.
- Markiewicz A., 1995. Halotektonika soli cechsztyńskich w strefie dyslokacyjnej środkowej Odry, a zaburzenia glacictektoniczne we Wzgórzach Dalkowskich. *VIIIth Glacitectonics Symposium*, Wyd. Uczel. WSInż., Zielona Góra, 175–192.
- Markiewicz A., 1999. Neotektoniczne założenia kopalnych rynien czwartorzędowych Środkowego Nadodrza (SW Poland). *Przegląd Geologiczny*, 47, 9, 825–830.
- Markiewicz A., 2003. *Tektonika cechsztyńskiej soli kamiennej w LGOM i jej znaczenie dla działalności gospodarczej*. AGH, Kraków, 1–144 (praca doktorska).

- Markiewicz A., 2004. Morphotectonics of the Odra valley between Chobienia and Nowa Sól (Middle Odra Region). *Materiały Konferencji Geologiczne i środowiskowe problemy gospodarowania i ochrony doliny górnej i środkowej Odry, Wrocław 18–19.11.2004*, PIG, Wrocław, 25–32.
- Markiewicz A., 2006a. Reactivation of thin-skinned of the south-western Polish depression and its influence on formation of the Silesian ridge. *Materiały projektu UE MELA, Cedyňa 28–30.08.2006*, PIG, 51–56.
- Markiewicz A., 2006b. Rola reaktywacji naskórkowej struktury niżu SW Polski w powstaniu Wału Śląskiego. *XIII Konferencja Stratygrafia plejstocenu Polski pt. Plejstocen południowej Warmii na tle struktur podłoża, Maróz 4–8.09.2006*, PIG, Komitet Badań Czwartorzędu PAN, Wyd. PIG, Warszawa, 101–103.
- Markiewicz A., 2007a. Naskórkowa struktura południowej części monokliny przedsudeckiej a zagospodarowanie soli Na1. *Przegląd Solny, Kwartalnik Gospodarka Surowcami Mineralnymi PAN*, Wyd. IGSMiE, Kraków, 35–49.
- Markiewicz A., 2007b. Rozpoznanie tektoniki złoża Lubin – Sieroszowice w trakcie jego zagospodarowania. Geologiczne, gospodarcze i społeczne znaczenie odkrycia złoża rud miedzi. *Materiały Konferencji, Lubin, Biuletyn PIG*, 423, Warszawa, 151–172.
- Markiewicz A., 2007c. Tektonika obszaru złoża. W: Piestrzyński A. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź S.A., Lubin*, 115–132.
- Markiewicz A., Banaszak A., 2005. Dotychczasowe rozpoznanie budowy geologicznej złoża najstarszej soli kamiennej „Kazimierzów” (obszar górniczy „Sieroszowice I”). *Materiały VII konferencji Zagospodarowanie kopalni towarzyszących w górnictwie, Radzyń 18–20.05.2005, Czasopismo Naukowo-Techniczne Górnictwo Odkrywkowe, XLVII, 2, Wrocław*, 15–21.
- Markiewicz A., Dmyszewicz K., Kalisz M., Kozula R., Sadecki Z., Sobociński J., Klimkiewicz A., Cygan S. & Zaczek S., 2006. Program badań za pomocą otworów wiertniczych wykonanych z powierzchni terenu w obszarach koncesyjnych złóż rud miedzi. *Prace KGHM CUPRUM sp. z o.o. CBR, Wrocław*, 1–89.
- Markiewicz A., Kalisz M. & Farbisz J., 2005a. Badania strukturalne pokrywy permsko-mezozoicznej w trakcie zgłębiania szybu R-XI, w celu wskazania zagrożeń wodnych i geotechnicznych. Etap II: Budowa geologiczna kompleksu cechsztyńskiego. *Prace KGHM CUPRUM sp. z o.o. CBR, Wrocław*, 1–48.
- Markiewicz A., Kalisz M., Farbisz J. & Michalak J., 2004. Badania strukturalne pokrywy permsko-mezozoicznej w trakcie zgłębiania szybu R-XI, w celu wskazania zagrożeń wodnych i geotechnicznych. Etap II: Budowa geologiczna kompleksu kenozoicznego i mezozoicznego. *Prace CBPM CUPRUM sp. z o.o. CBR, Wrocław*, 1–35.
- Markiewicz A., Kalisz M., Krzywiec P., Wróbel G., Farbisz J., Zaczek S. & Dmyszewicz K., 2005b. Określenie budowy tektonicznej pokrywy permsko-mezozoicznej i piętra kenozoicznego w rejonie projektowanego szybu SW-4 w celu wskazania zagrożeń wodnych i geotechnicznych. *Prace KGHM CUPRUM sp. z o.o. CBR, Wrocław*, 1–84.

- Markiewicz A. & Kraiński A., 2002. Neotektoniczna reaktywacja struktur halotektonicznych a zaburzenia glacitektoniczne w strefach marginalnych zlodowaceń plejstocenyjskich na przykładzie wzgórz Dalkowskich (SW Polska). *Materiały IX Sympozjum Glacitektoniki, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, nr 129, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska (Budownictwo nr 37), Zielona Góra, 123–142.
- Markiewicz A. & Kraiński A., 2007. Contemporary tectonic activity in the area of Głogów – at the borderland of Dalków Hills and Baruck-Głogów ice-marginal (SW Poland). W: Zuchiewicz W. & Piotrowski A. (Eds), *Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji Neotektonika Polski pt. Neotectonics cross-bordering the Western and Eastern European platform, Szczecin 24–26.09.2007*, Komisja Neotektoniki Komitetu Badań Czwartorzędu PAN, Oddział Pomorski PIG, ING Uniwersytetu Jagiellońskiego, Galicia Tectonic Group, Szczecin.
- Markiewicz A. & Mantke M., 1990. Sprawozdanie z badań geologicznych w trakcie zgłębiania szybu SG 1. *Prace ZBiPM CUPRUM* (archiwum), Wrocław, 1–11.
- Markiewicz A. & Piotrowski A., 1999. Wpływ tektoniki soli cechsztyńskich na współczesną morfologię Środkowego i Dolnego Nadodrza. *Przegląd Geologiczny*, 47, 10, 937–941.
- Markiewicz A. & Winnicki J., 2005. Plejstocenyjska reaktywacja cienkopokrywowej struktury monokliny przedsudeckiej a strefy dużych zaburzeń glacitektonicznych w rejonie Zielonej Góry, Kozuchowa i Głogowa (SW Polska). W: Zuchiewicz W., Przybylski B. & Badura J. (red.), *Materiały VI Ogólnopolskiej Konferencji Neotektonika Polski. Aktywne uskoki Europy Środkowej, Srebrna Góra 26–28.09.2005*, Komisja Neotektoniki Komitetu Badań Czwartorzędu PAN, Oddział Dolnośląski PIG, ING Uniwersytetu Jagiellońskiego, Galicia Tectonic Group, Wrocław, 40–42.
- Markiewicz A. & Winnicki J., 2007a. Morfotektonika Wału Trzebnickiego (Śląskiego). *Materiały X Sympozjum Glacitektoniki, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, nr 134, Zielona Góra, 113–131.
- Markiewicz A. & Winnicki J., 2007b. Strefa głębokich zaburzeń glacitektonicznych wschodniej części Wzgórz Dalkowskich na tle naskórkowej struktury monokliny przedsudeckiej. *Materiały X Sympozjum Glacitektoniki, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Zielonogórskiego*, nr 134, Zielona Góra, 133–152.
- Oberc J., 1967. Budowa geologiczna terenów XL Zjazdu Polskiego Towarzystwa Geologicznego (w Zgorzelcu). *Przegląd Geologiczny*, 15, 6, 253–261.
- Oberc J., 1972. *Sudety i obszary przyległe*. W: *Budowa geologiczna Polski. T. IV. Tektonika*, cz. 2, Instytut Geologiczny, Wyd. Geol., Warszawa, 258–268.
- Passchier C.W. & Trouw R.A.J., 2005. *Microtectonics*. Springer-Verlag, Berlin – Heidelberg.
- Roedder E., 1979. Fluid inclusion evidence on the environments of sedimentary diagenesis, a review. *SEMP Special Publication*, 26, 89–107.
- Roedder E., 1984a. Fluid inclusions. W: Ribbe P.H. (Ed.), *Reviews in Mineralogy. Short Course Notes*, Mineralogical Society of America, 12, 1–644.
- Roedder E., 1984b. The fluid in salt. *American Mineralogist*, 69, 413–439.

- Roedder E. & Belkin H.E., 1980. Migration of fluid inclusions in polycrystalline salt under thermal gradients in the laboratory and in Salt Block II (abst.). *Proc. 1980 Natl. Waste Terminal Storage Program Information Meeting*, 212, 361–363.
- Roedder E. & Belkin H.E., 1981. Petrographic study of fluid inclusions in salt core samples from Asse mine, Federal Republic of Germany. *United States Geological Survey Openfile Report 81-1128*.
- Salski W., 1996. Tektonika złoża. W: Piestrzyński A. (red.), *Monografia KGHM Polska Miedź S.A.*, Lubin, 141–155.
- Schleder Z., Burliga S. & Urai J.L., 2007. Dynamic and static recrystallization-related microstructures in halite samples from the Klodawa salt wall (central Poland) as revealed by gamma-irradiation. *Neues Jahrbuch für Mineralogie und Petrologie*, 184, 1, 17–28.
- Schleder Z. & Urai J.L., 2005. Microstructural evolution of deformation-modified primary halite from the Middle Triassic Rot Formation at Hengelo, The Netherlands. *International Journal of Earth Sciences*, 94, 941–955.
- Schleder Z. & Urai J.L., 2007. Deformation and recrystallization mechanisms in mylonitic shear zones in naturally deformed extrusive Eocene-Oligocene rocksalt from Eyvanekey plateau and Garmsar hills (central Iran). *Journal of Structural Geology*, 29, 241–255.
- Schlöder Z., Urai J.L., Nollet S. & Hilgers C., 2008. Solution-precipitation creep and fluid flow in halite: a case study of Zechstein (Z1) rocksalt from Neuhof salt mine (Germany). *International Journal of Earth Sciences*, 97, 1045–1056.
- Sokołowski J., 1967. Charakterystyka geologiczna i strukturalna obszaru przedsudeckiego. *Geologia Sudetica*, 3, 297–367.
- Sonnenfeld P., 1988. *Brines and Evaporites*. Moskwa, 1–478 (tłum. z języka angielskiego na rosyjski).
- Szybist A., 1976. Złoże soli kamiennej w Legnicko-Głogowskim Okręgu Miedziowym. *Przegląd Geologiczny*, 24, 10, 369–375.
- Toboła T., 1999. *Petrologiczna i geochemiczna charakterystyka soli mioceńskich w Polsce*. Biblioteka Główna AGH, 1–180 (praca doktorska, maszynopis).
- Toboła T. & Weselucha-Birczyńska A., 2008. Inkluzje fluidalne w halicie niebieskim. W: Toboła T. & Natkaniec-Nowak L. (red.), *Sole niebieskie w wysadzie kłodawskim*, UWND AGH, Kraków, 81–99.
- Tokarski A., 1958. Poszukiwawcze zadania wiercenia Mogilno 1. *Nafta*, 14, 1.
- Tomaszewski J., 1963a. *Budowa geologiczna obszaru między Lublinem a Sieroszowicami (Dolny Śląsk)*. Archiwum Instytutu Geologicznego Uniwersytetu Wrocławskiego, Wrocław (praca doktorska).
- Tomaszewski J., 1963b. Tektonika brzeżnej części monokliny przedsudeckiej. *Rudy i Metale Nieżelazne*, 8, 2, 207–210.
- Warren J., 1999. *Evaporites. Their Evolution and Economics*. Blackwell Science Ltd.
- Weselucha-Birczyńska A., Toboła T. & Natkaniec-Nowak L., 2008. Raman microscopy of inclusions in blue halites. *Vibrational Spectroscopy*, 48, 302–307.

## Summary

On the base of geological and geophysical investigations four general structural units have been distinguished in the LGOM region (Fig. 1). Two of them i.e. Fore-Sudetic block and basement of the Fore-Sudetic Monocline consist of metamorphic and magmatic rocks. The others i.e. Fore-Sudetic Monocline and the Cenozoic Cover are built of sedimentary rocks.

In tectonic development of Fore-Sudetic Monocline the Oldest Salt Na1 played a significant role. Their position between rigid rocks in basement and cover, salt weakened regional and local tectonic strains. The Oldest Salt horizon was conducive to damping faults downward to the basement and at the same time generated separate blocks system in the cover. Simultaneously, the Oldest Salt layer underwent plastic deformations and shifting as a result of tectonic movements.

In order to prove a copper mineralization in NW part of Sieroszowice deposit (Fig. 2), a prospect bore-hole SS-15 was drilled to the depth of 1210 m. It is located in axial part of Dalkowski Hills in the area of Bukowica, about 5 km SW of Głogów. The prospect bore-hole reached the bed of the Oldest Salt about 147.7 m thick (Fig. 3).

Observations of core revealed that coarse-grained salts with well developed crystals prevailed in the entire profile (Figs 3, 4). They consist of big halite crystals with size reaching few cm and the matrix composed of smaller crystals up to 1 cm. The colour of this rock salt changes from white to light-grey (Fig. 4). Lamination was not observed in the salt but inside them sometimes small irregular, blurred spots and streaks of grey colour are observed (Fig. 5). In some parts of these salts intercalations of grey salts with elongated halite crystals occur (Fig. 6).

Fine-grained and middle-grained salts occur rarely. Within the entire Na1 profile, thicker anhydritic intercalations have not been stated.

In order to characterize crystal and coarse-grained salts, some samples from selected parts of the core were taken. Then, from these samples thick sections for petrologic and fluid inclusions study were prepared. They were made by cracking of previously separated halite crystals or cutting by the low-speed saw. In the next stage, thick sections were grinded with sandpaper and polished.

Observations under petrological microscope revealed that both big and smaller halite crystals are pure. Fluid inclusions assemblage (FIA) in the big halite crystals occur rarely and they are randomly distributed. In the parts of crystals where FIA appears, inclusions differ from each other in their position to crystallographic axis, shapes and size, vapor to liquid phase ratio. Crossing and splitting of different FIA is also observed.

Generally, four types of different FIA characterized by common features of inclusions can be distinguished:

- 1) Big inclusions arrays which size range up to 0.5 millimetre, composed of irregular shaped inclusions (Fig. 7A). These inclusions are elongated in the direction of array's line. Necking down is also observed for this FIA. The inclusions display of various liquid to vapor phase ratio.

- 2) FIA consists of smaller inclusions, in the range of dozen to 100  $\mu\text{m}$  (Fig. 7B). The inclusions are more regular, tubular and elongated in the direction of array's line. Most of inclusions are filled with fluid but sometimes inclusions of various liquid to vapor phase ratio are observed.
- 3) FIA consist of very small inclusions with size of few micrometers (Fig. 7B, C). The inclusions shape is regular, nearly cubic, negative. Similar to the previous type of the FIA, most of them are filled with fluid or sometimes filled with vapour only.
- 4) That type of FIA differ from the above three assemblages. It consists of very irregular, flatten and big inclusions (Figs 7D, 8A, B). They occur in a form of curve arrays surrounding a part of crystal. Their occurrence is very similar to those observed on the halite grain boundary.

Within single big crystals hypautomorphic and automorphic enclaves of anhydrite are visible (Fig. 8B–D). Enclaves occur as single, irregularly placed inclusions or more often as elongated arrays which sometimes end in the same common point. Most of the anhydrite crystals are covered with fluid inclusions (Fig. 9A).

In the matrix of big crystal inside coarse-grained salts the shape of halite crystals is hypautomorphic or xenomorphic. Boundaries between halite crystals are wavy or bend (Fig. 9B). Numerous of crystal boundaries meet at the triple junction with angles approaching 120°. Inside the crystals FIA are very rare. They include very similar first three assemblages to those of observed in big halite crystals. Most of fluid inclusions are situated on that grains boundaries where they form dense network (Fig. 9B). Their size range from few micrometres to 1 or 2 millimetres and their shape is very irregular and rounded.

The blurred spots and streaks of grey colour show similar features as observed in the matrix of coarse-grained salts but the size of halite crystals are smaller and they include much more anhydrite crystals. The anhydrite crystals are situated nearby the halite boundaries. Most halite crystals do not contain FIA, but the fluid inclusions are situated on grains boundaries (Fig. 9C). In one case only primary FIA with randomly distributed large inclusions occurred (Fig. 9D).

The arrays of anhydritic inclusions as well as lack of primary inclusions indicated that halite underwent recrystallization. Clearly visible was also a grain boundary migration process resulted from diverse tectonic strain.