

## EWAPORATY. NOWE DANE MINERALOGICZNO-PETROGRAFICZNE

### Evaporites. New mineralogical-petrographical data

**Maciej PAWLIKOWSKI**

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska,  
Katedra Mineralogii, Petrografii i Geochemii;  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków;  
e-mail:mpawlik@uci.agh.edu.pl*

**Treść:** Badania ewaporatów prowadzone są bardzo intensywnie zarówno ze względu na to, że są to surowce niezmiernie cenne dla wielu dziedzin gospodarki, lecz także, a może głównie ze względu na to, że z ewaporatami często współwystępują złoża ropy i gazu. Zrozumienie wielu zjawisk występujących w czasie sedymentacji, diagenety, a także metamorfizacji ewaporatów ma podstawowe znaczenie poznawcze i przyczynia się do poprawnych decyzji zwianych z poszukiwaniem obu wspomnianych paliw.

W publikacji zaprezentowano różne rodzaje zbiorników ewaporacyjnych i różne sposoby naturalnego zagęszczania słonej wody. Przedstawiono także różne rodzaje kryształów pochodzenia ewaporacyjnego wskazujące na różne sposoby krystalizacji ewaporatów. Zaprezentowano także przykłady krasu solnego i omówiono sposoby krystalizacji form pochodzenia krasowego krystalizujących z minerałów ewaporacyjnych.

**Słowa kluczowe:** ewaporaty, krystalizacja, mineralogia

**Abstract:** Research on evaporates is conducted very intensively, which is both due to the fact that they are of utmost value to many branches of economy, and also (and this seems to be the main reason) that often deposits of oil and gas are found close to evaporites. Hence the comprehension of phenomena may contribute, in a fundamental way, to correct decisions related to the exploration of both fuels.

The publication deals with various theories concerning functioning of evaporate basins and various way of salty water condensation. Moreover various types of evaporate crystals representing differentiated way of evaporate formation and crystallization are presented. Additionally examples of karstic forms crystallizing at salt main are described and the way of their crystallization is explained.

**Key words:** evaporites, crystallization, mineralogy

## PREZENTACJA PROBLEMATYKI

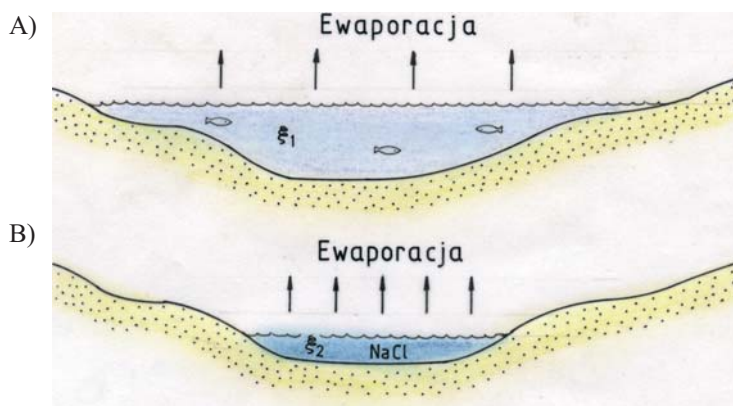
Ponieważ ewaporaty są osadami z wielu względów bardzo trudnymi w rozpoznaniu ich genezy i klasyfikacji, występuje szereg podstawowych zróżnicowanych problemów. Jako bazę do dyskusji nad tymi problemami przedstawiono propozycje dotyczące genezy zbiorników ewaporacyjnych, krystalizacji ewaporatów oraz ich metamorfizmu.

### Zbiorniki ewaporacyjne

Bez względu na typ krystalizujących ewaporatów (minerałów) krystalizacja następuje w wyniku przekroczenia iloczynu rozpuszczalności minerału w trakcie zagęszczania wody (D'Ans 1933, Borchert & Muir 1964). Zagęszczanie to może się odbywać wskutek dwóch zjawisk: odparowania wody (model Oscheniusa 1888) lub jej schładzania.

#### A. Zagęszczanie wody w zbiorniku przez jej odparowanie

W klasycznym modelu Oscheniusa (1888) woda zagęszcza się w zamkniętym zbiorniku (do którego nie ma dopływów świeżej wody) poprzez parowanie (Fig. 1). Po zredukowaniu objętości i przekroczeniu iloczynu rozpuszczalności krystalizują kolejne minerały ewaporacyjne (Borchert & Muir 1964). Powstaje osad o charakterze cyklotemu solnego, w którego spągu występują ewaporaty o najniższej rozpuszczalności, zaś w stropie ewaporaty o najwyższej rozpuszczalności (Garlicki 1968, Pawlikowski 1980, Czapowski 1983). W zbiorniku tym od pewnego momentu zanika życie biologiczne. Gdy warunki przedłużają się, zbiornik tego typu całkowicie wysycha (Pawlikowski & Pająk, w druku).

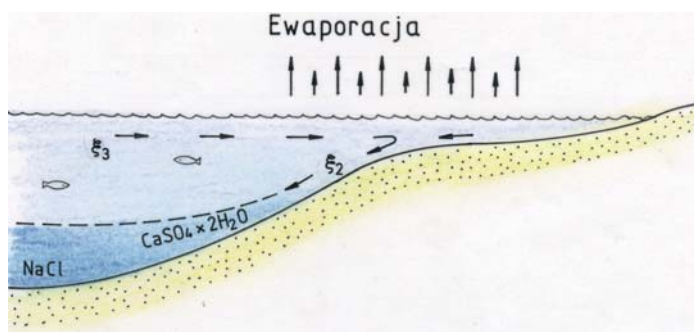


**Fig. 1.** Schemat ewaporacyjnego zbiornika (Oscheniusa 1888), w którym krystalizacja ewaporatów odbywa się z wody zagęszczonej w wyniku jej odparowania: A) zbiornik otwarty – woda o gęstości  $\xi_1$ ; B) zbiornik zamknięty – woda zagęszczona  $\xi_2$

**Fig. 1.** The scheme of Oschenius (1888) evaporate basin where crystallization of evaporates is the result of water condensation due to evaporation of water: A) open basin – density of water  $\xi_1$ ; B) closed basin – density of water  $\xi_2$

### B. Zagęszczanie wody w zbiorniku przez jej schładzanie

W tym modelu zbiornika woda zagęszcza się w wyniku parowania w strefie szelfowej. Po częściowym odparowaniu woda zagęszcza się i zwiększa swój ciężar właściwy. Jako cięższa opada na dno i po skłonie szelfu migruje ku głębokim partiom zbiornika. W czasie migracji schładza się (nawet do temperatury  $+4^{\circ}\text{C}$ ) i zagęszcza (Fig. 2). Po przekroczeniu kolejnych gęstości, a zatem iloczynu rozpuszczalności kolejnych minerałów, następuje krystalizacja odpowiednich ewaporatów. Powstają zróżnicowane facjalnie (w poziomie) strefy krystalizacji ewaporatów. W zbiorniku takim ponad przydenną warstwą mocno zagęszczonej wody normalnie funkcjonuje życie biologiczne. Zbiornik nie kurczy się i nie wysycha (Pawlikowski & Skowroński 1975a, Pawlikowski 1976a, b, Pawlikowski & Stasik 1980).



**Fig. 2.** Schemat modelu zbiornika ewaporacyjnego, w którym krystalizacja ewaporatów odbywa się z wody zagęszczonej w wyniku jej schładzania (Pawlikowski 1976). Gęstości wody:  $\xi_2 > \xi_3$

**Fig. 2.** The scheme of evaporate basin where crystallization goes from water dense due to phenomenon of water cooling (Pawlikowski 1976). Density of water:  $\xi_2 > \xi_3$

Zbiorniki mogą się przekształcać jeden w drugi zarówno w całości, jak i w poszczególnych ich partiach.

W obu modelach basenów krystalizacja minerałów ewaporatowych odbywa się bezpośrednio z wody.

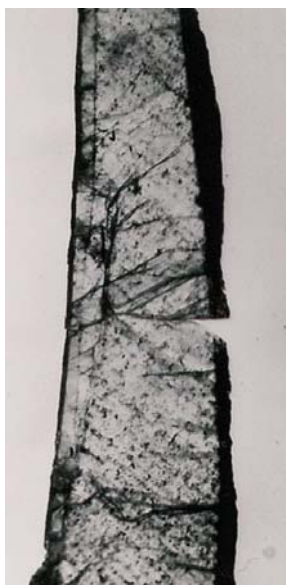
Minerały ewaporacyjne mogą krystalizować bezpośrednio na dnie zbiornika w formie wielokrystalicznej (halit, gips wielokrystaliczny – Pawlikowski & Książek 1978). W tym wypadku na górnych ściankach wzrostu kryształów występują domieszki materiału detrytycznego (ziarna kwarcu, minerały ilaste i in.), które powstały na ich powierzchni z toni wodnej. W ten sposób powstały sole i gipsy wielokrystaliczne (np. wielkie sole zielone – Fig. 3, gipsy „szklicowe”, np. złoża Basznia – Fig. 4).

Ewaporaty mogą krystalizować także w toni wodnej zbiornika ewaporacyjnego. Po zainicjowaniu krystalizacji kryształy, podobnie do śniegu, opadają na dno zbiornika. Są one niewielkie i sedimentując na dnie tworzą osady laminowane (Pawlikowski 2008). Osadzając się sezonowo (lato – zima), dają w efekcie ewaporaty laminowane (Fig. 5 – miocenne gipsy laminowane – Pawlikowski 1983, 1986).



**Fig. 3.** Kryształ halitu wielkokrystalicznego (sole zielone – Wieliczka), który krystalizował na dnie zbiornika. Materiał detrytyczny, który opadł z toni wody na kryształ, lokuje się na górnych powierzchniach wzrostu kryształu. Powiększenie 2×

**Fig. 3.** Crystal of coarse crystalline halite (green salt – Wieliczka), crystallizing at the bottom of basin. Detrital material deposited from water is deposited on upper surface of crystal. Magnification 2×



**Fig. 4.** Kryształ gipsu (gipsy wielkokrystaliczne, złożę Basznia), który krystalizował na dnie zbiornika. Materiał detrytyczny, który opadł z wody na kryształ gipsu, lokuje się na górnych powierzchniach wzrostu kryształu (w kryształcie widoczne delikatne smugi). Skala 2:1

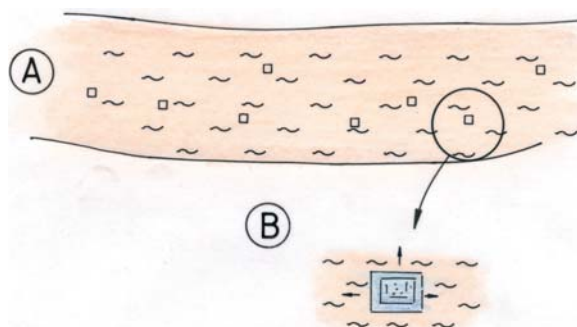
**Fig. 4.** Crystal of gypsum (coarse crystals from Basznia deposit), crystallizing at the bottom of basin. One can see detrital material deposited on upper surfaces of growing crystal (visible delicate dark laminae at crystal). Scale 2:1



**Fig. 5.** Obraz mikroskopowy pierwotnego gipsu laminowanego. W dolnej partii gips drobnokrystaliczny – lamina ciemna. W górnej partii gips nieco grubiej krystaliczny – lamina jasna. Gipsy mioceńskie. Światło spolaryzowane, nikole X, powiększenie 10×

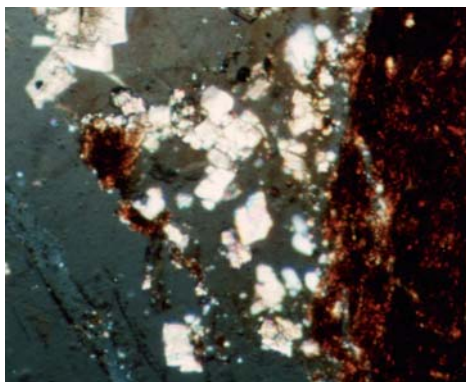
**Fig. 5.** Microscopic picture of fine laminated gypsum. One can see slightly coarser grained gypsum at upper part of photo while finer are located at lower part. Miocene gypsum. Polarized light, NX, magnification 10×

Minerały ewaporatowe (np. halit czy gips) mogą także krystalizować z wód porowych w niezdiagnozowanym osadzie dennym przepojonym stężoną solanką (Pawlikowski & Tarkowski 1976c). Na przykład halit może krystalizować w niezdiagnozowanym osadzie ilastym. W ten sposób powstają zubry pierwotne (Fig. 6). Natomiast gdy osad jest już zdiagnozowany i spękany, może zostać (jeszcze w zbiorniku) objęty mineralizacją żyłkową, gdzie żyłki wypełniają minerały, takie jak halit, gips czy węglany (Fig. 7).



**Fig. 6.** Schemat krystalizacji halitu (powstawanie zuba pierwotnego) w ilastym osadzie dennym przepojonym solanką: A – rozmieszczenie kryształów halitu w ile, B – główne kierunki wzrostu kryształów halitu w osadzie – strzałki

**Fig. 6.** The scheme of primary halite crystallization at salty clay (bottom sediment saturated with salty water): A – location of halite crystals at clay, B – main directions of halite growth – arrows



**Fig. 7.** Kontakt żyłki wypełnionej minerałami ilastymi z halitem. Widoczna strefa zaburzeń i zmieszania halitu z ilem na kontakcie żyłki z solą kamienną. Sól kamienna ze współczesnych polderów solnych w Egipcie. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy częściowo X, powiększenie 80×

**Fig. 7.** The contact of thin vein filled up with clay mineral with halite. One can see transition zone mixing of halite with clay. Area of halite production from sea water – Egypt. Polarizing light microscope, NX, magnification 80×

Minerały uznawane za ewaporacyjne mogą powstawać także w inny sposób, np. w pobliżu źródeł lub jako efekt procesów wietrzennych niektórych minerałów np. siarczków. Koncentracje powstające w ten sposób nie mają jednak tak dużego znaczenia przemysłowego jak w przypadku ewaporatów tworzących się w dużych zbiornikach typu A i B.

Ze względu na genezę skały zawierające minerały ewaporacyjne można podzielić na (Pawlikowski 2008):

- ewaporaty pierwotne,
- ewaporaty detrytyczne,
- ewaporaty zmetamorfizowane.

### Ewaporaty pierwotne

Powstały w zbiorniku (A, B) i nie uległy żadnym przeobrażeniom (deformacjom). Ich sedimentacja rozpoczyna się od warstw wzbogaconych w metale (Pawlikowski 1983, Kucha & Pawlikowski 1986). Struktury tych skał są krystaliczne gdyż minerały które je tworzą powstały w wyniku krystalizacji. Zatem struktury pierwotnych skał ewaporacyjnych są krystaliczne, a nie ziarniste. Obok struktur drobno-, średnio- i grubokrystalicznych można wyróżnić także struktury typu pegmatytowego – w przypadku ewaporatów bardzo grubokrystalicznych (np. sole zielone w Bochni i Wieliczce czy gipsy wielokrystaliczne).

W osadach tego typu kryształły np. halitu mają pokrój kostkowy. Inkluzje i wrostki w kryształach o tej genezie powtarzają geometryczny kształt kryształów.

### Ewaporaty detrytyczne

Ich geneza jest taka jak osadowych skał okruchowych. Powstają jako produkt mechanicznej destrukcji osadów ewaporacyjnych. Mogą się tworzyć się w środowisku wodnym i lądowym (Szybist & Toboła 1995, Toboła 1999, Pawlikowski 2008). W związku z ich

genezą i charakterem mineralogiczno-petrograficznym osady te choć zbudowane z minerałów ewaporacyjnych (występujących na wtórnym złożu), mają charakter detrytyczny. Ich struktury są zatem ziarniste (nie krystaliczne).

### **Ewaporaty detrytyczne powstające w środowisku wodnym**

W środowisku wodnym powstają np.olistostromy (stokowe denne spływy w zbiornikach ewaporacyjnych). Efektem tego zjawiska są m.in. zuber sedimentacyjne powstałe w wyniku zmieszania ilów solnych z halitem. W tym wypadku ziarna halitu są często mocno zdeformowane (Fig. 8).



**Fig. 8.** Sedymenacyjny zuber z olistostromy wielickiej. Widoczne ciemne, zdeformowane ziarna halitu (w środku halit z obwódką gipsową). Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 10×

**Fig. 8.** Sedimentary mixture of clay and halite (bottom slope sediment – olistostrome). One can see deformed grains of halite with ring built of secondary gypsum. Polarizing light microscope, NX, magnification 10×

W tych warunkach może powstać zuber detrytyczny, Różni się od pierwotnego formą występowania halitu w ile. Reprezentują go zdeformowane i pokruszone kryształy lub agregaty kryształów stanowiące fragmenty pokładów soli kamiennej.

### **Ewaporaty detrytyczne powstające w środowisku lądowym**

Procesy wietrzenia mechanicznego prowadzą do dezintegracji ewaporatów. Halit i niektóre inne minerały ewaporacyjne są miękkie i szybko ulegają kompletnej destrukcji mechanicznej. Także szybko rozpuszczają się w wilgotnym środowisku. Stąd piaski czy żwiry halitowe są rzadkością i nieznane są tak powszechnie jak typowe ewaporaty powstające w procesie krystalizacji. Poznano je jedynie na obszarach pustynnych, w których sole ulegają mechanicznej dezintegracji.

Częstsze są brekcje, żwiry, piaski i mułki gipsowe czy anhydrytowe. Osady tego typu są zbudowane z minerałów ewaporatowych, lecz są osadami detrytycznymi (Pawlikowski 1986). Do nich można między innymi zaliczyć niektóre kalkarenity – w przypadku gdy

erodowany, wyjściowy osad stanowią wapienie utworzone w zbiorniku ewaporacyjnym (ewaporat niższego stopnia).

W osadach o tej genezie występują obtoczone (w różnym stopniu) ziarna minerałów ewaporatowych np. gipsu (Fig. 9). Dlatego struktury tych skał są ziarniste.



**Fig. 9.** Obraz mikroskopowy gipsowego żwiru piaszczystego utworzonego z ostrokrawędzistych okruchów mioceńskiego gipsu laminowanego (z górnej części profilu gipsowego). Kamieniołom w Gackach. Powiększenie 2×

**Fig. 9.** Microscopic picture of sharp grains of gypsum gravel. Miocene – upper part of laminated gypsum. Quarry – Gacki. Magnification 2×

### **Ewaporaty zmetamorfizowane**

W warunkach geologicznych najczęściej mamy do czynienia właśnie z tym typem ewaporatów (metamorficznym). Wynika to z faktu, że większość minerałów ewaporacyjnych jest miękka i łatwo ulega przeobrażeniom. Ponieważ skały mają genezę metamorficzną, ich struktury są blastyczne (nie ziarniste i nie krystaliczne).

#### **Ewaporaty zmetamorfizowane w wyniku metamorfizmu diastroficznego (ciśnieniowego)**

Metamorfizacja ewaporatów pod wpływem nacisków (najczęściej kierunkowych, bez podwyższonej temperatury) prowadzi do ciągłych i nieciągłych deformacji pokładów. Sole (np. kamienne) ulegają deformacjom ciągłym, tworząc fałdy, łuski, nasunięcia typowe dla tektoniki plikatywnej będące efektem sił działających w kierunkach stycznych do powierzchni Ziemi.

Wiele form o tej genezie znanych jest z mioceńskich, podkarpackich złóż soli (Poborski & Ciszewska 1963).

Współwystępujące z solami warstwy ewaporatów „sztywnych” (anhydryt, gips i in.) ulegają pokruszeniu tworząc formy typowe dla tektoniki dysjunktywnej. Stąd w złożach ewaporatów wśród zdeformowanych pokładów soli tworzących fałdy czy łuski napotyka się fragmenty rozerwanych warstw anhydrytowych czy piaskowcowych.

Sole kamienne przeobrażone w wyniku metamorfizmu diastroficznego zbudowane są z halitu, który ma formę blastów, a więc wydłużonych, zdeformowanych „ziarn” przybierających często wydłużony wrzecionowaty kształt. Inkluzje gazowo-ciekłe i wrostki rozlokowane są wzdłuż linii powtarzających wrzecionowaty kształt blastów (Fig. 10).



**Fig. 10.** Deformacja kryształów halitu w wyniku metamorfizmu diastroficznego. Orientacja wrostków gazowo-ciekłych (prawy dolny róg fot.) o przebiegu niezgodnym z łupliwością halitu o wydłużonych blastach. Wieliczka, sole najstarsze. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy częściowo X, powiększenie 80×

**Fig. 10.** Deformation of halite crystals due to diastrophic metamorphism. Orientation of gas-liquid inclusions (right low corner of photo) unparallel to cleavage of halite blasts showing elongated shape.

Wieliczka mine, oldest salts. Polarizing light microscope, NX, magnification 80×

W wyniku tego metamorfizmu mogą także powstawać zubry metamorficzne (tektoniczne), w których skały detrytyczne zmieszane są z halitem (Pawlikowski & Stasik 1980, Pawlikowski 2005a, Pawlikowski & Ślizowski 2005).

#### **Ewaporaty zmetamorfizowane w wyniku metamorfizmu regionalnego (wysokie ciśnienie i wysoka temperatura)**

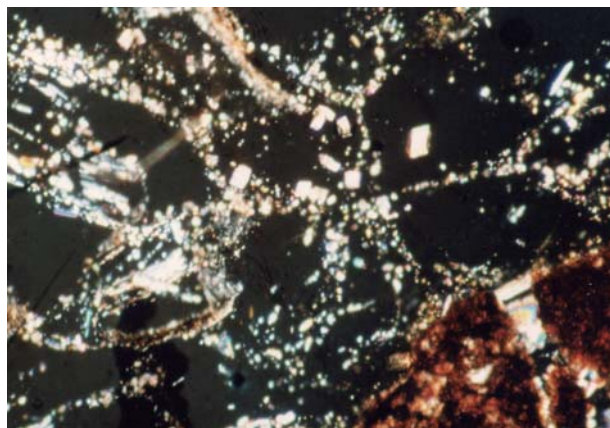
Wysokie ciśnienie i temperatura prowadzą do licznych przeobrażeń ewaporatów. Gipsy podobnie jak inne uwodnione sole ulegają odwodnieniu. Gips oddając wodę i zmniejszając objętość, przebudowuje się w anhydryt.

Halit w tych warunkach (wydzielenia wody z gipsu) może przejść w fazę ciekłą, by po schłodzeniu ponownie wykryształizować w formie blastów.

W halicie objętym metamorfizmem regionalnym blasty mają postrzępione i nieregularne zarysy, a ich kontakt z innymi blastami halitu przybiera charakter poszarpanej nieregularnej linii. Wrostki występujące w tak utworzonym halicie mają charakter „mikroporwaków”, a ich rozmieszczenie w blastach jest przypadkowe. Często mają formę smug o różnokierunkowym przebiegu. Typowym przykładem tego rodzaju metamorfizmu są ewaporaty występujące w wysadach solnych.

Badając ten typ skał, należy jednak pamiętać, że na struktury będące efektem metamorfizmu regionalnego, w obserwowanych obecnie profilach wysadów solnych, nakłada

się diaforeza, czyli metamorfizm wsteczny związany ze schładzaniem osadów i spadkiem w nich ciśnienia w procesie wypiętrzania diapirów (Fig. 11).



**Fig. 11.** Układ wrostków anhydrytowych i wtrąceń ilastych na kontakcie blastów halitowych oraz w ich wewnętrznej strukturze. Metamorfizm regionalny. Cechsztyń, zubry brunatne, Kłodawa. Mikroskop polaryzacyjny, polaroidy X, powiększenie 80×

**Fig. 11.** Orientation of anhydrite inclusions and clayey concentrations at the contact of halite blasts as well as in their internal structure. Regional metamorphism. Zechstein, brownish zuber – Kłodawa mine. Polarizing light microscope, NX, magnification 80×

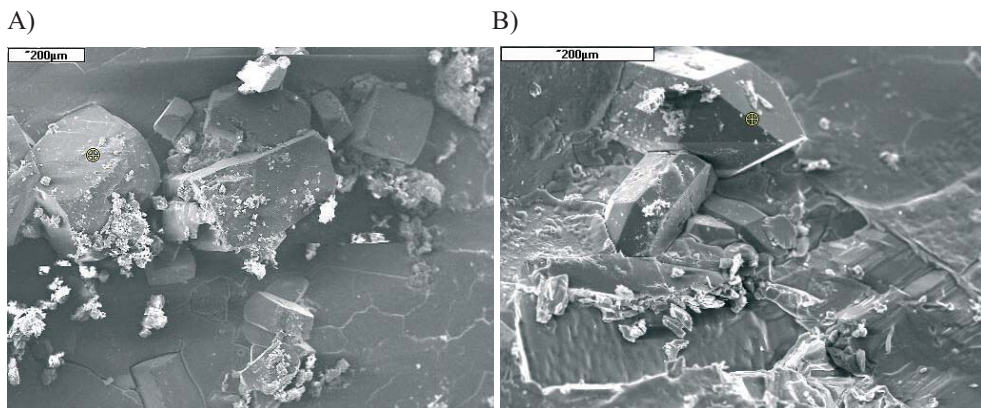
Efektom procesów tektonicznych związanych z wypiętrzaniem diapirów mogą być także zubry, czyli skały ilasto-solne, w których okruszki halitu rozproszone są w ilach.

### **Ewaporaty objęte przeobrażeniami hydrotermalno-pneumatolitycznym**

Ten typ przeobrażeń połączony jest z metamorfizmem regionalnym, w tym zwłaszcza z solankami krążącymi w wydzie. Woda tych solanek może pochodzić częściowo z odwodnienia uwodnionych minerałów ewaporacyjnych w trakcie ich pogrzebywania i równoczesnego podgrzewania w procesie metamorfizmu regionalnego. Solanki powstałe w tym procesie mogą mieć bardzo zróżnicowany skład chemiczny. Migrując z głębi ku powierzchni ziemi, ochładzają się, co prowadzi do ich przesylenia. Efektom tego zjawiska może być krystalizacja różnych minerałów wtórnych w już wcześniej zmetamorfizowanych solach. Mogą krystalizować sole potasowo-magnezowe, siarczany, halit i in.

Szczególnie trudne do rozpoznania jest zjawisko hydrotermalnej mineralizacji przez wtórny halit hydrotermalny już uprzednio zmetamorfizowanych soli kamiennych. Mineralizacja halitu wtórnym halitem jest często wielokrotna i występuje dosyć powszechnie w naszych wydach solnych, np. w Kłodawie.

Rozpoznanie tej mineralizacji jest możliwe za pomocą badań mikroskopowych. Zjawisko to jest widoczne jako występowanie idiomorficznych (hydrotermalnych) kryształów halitu wśród blastów halitu metamorficznego (Fig. 12A), a nawet jako mineralizacja soli idiomorficznymi mikrokryształami kwarcu (Fig. 12B).



**Fig. 12.** A) Blasty halitu objęte hydrotermalną mineralizacją wtórnym halitem (kryształy kostkowe). Hydrotermalnie zmetamorfizowane sole kamienne Kłodawy. SEM. B) Wtórna mineralizacja soli kamiennej kwarcem (górna część fotografii). Hydrotermalnie zmetamorfizowane sole kamienne z Kłodawy. SEM

**Fig. 12.** A) Blasts of halite secondary, hydrothermally mineralized with halite (regular crystals). Hydrothermally changed of salts from Kłodawa mine. SEM. B) secondary mineralization of salts with quartz (upper part of photo) Hydrothermally changed salts from Kłodawa mine. SEM

Współwystępowanie ze sobą nietypowych paragenez mineralnych, np. soli kamiennej z polihalitem i in., które nie może być efektem pierwotnych warunków panujących w zbiorniku ewaporacyjnym, skłania do przypuszczeń, że zjawisko to jest efektem wtórnej krystalizacji z ciepłych solanek (o bardzo zmiennym składzie chemicznym).

Należy zaznaczyć, że najczęściej w złożach solnych mamy do czynienia z nakładającymi się na siebie kilkoma różnymi procesami.

### Zjawiska krasu ewaporatowego

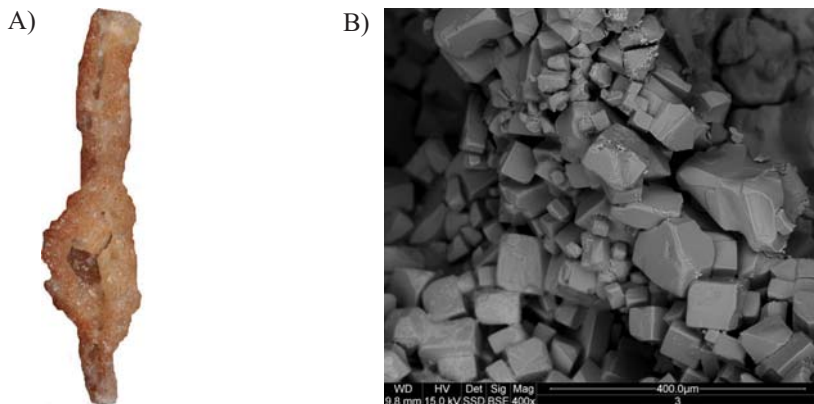
Zjawiska krasowe w osadach ewaporacyjnych znane są na przykład w formie jaskiń gipsowych (rejonu Buska). Kras ewaporatowy występuje także w czapach gipsowych złóż solnych.

Krystalizację minerałów uznawanych za ewaporacyjne, w tym zwłaszcza halitu w pustkach kopalnianych, można także uznać za zjawiska typu krasowego. Powstające w tych warunkach formy, takie jak stalaktyty, stalagmity, stalagnaty, draperie solne i kurtyny, stanowią o niezwykłym uroku starych wyrobisk górniczych w kopalniach solnych. Krystalizacja tych form ma także swoją specyfikę. Poniżej omówione zostaną wybrane halitowe formy krasowe.

### Stalaktyty solne (makarony)

Krystalizują na stropie komór, w miejscach, w których pojawiają się krople solanki. Solanka odparowująca z powierzchni kropli daje początek rurkowej formie stalaktytu. Solanka spływająca stalaktytem, a następnie odparowująca na jego końcu, dostarcza chlorku sodu do krystalizacji stalaktytu. W ten sposób stalaktyt zwiększa swoje wymiary. W przy-

padku gdy solanka ścieka we wnętrzu stalaktytu, jest on cienki i rozbudowuje się na długość. Gdy solanka spływa wewnątrz stalaktytu i na zewnątrz, rozbudowuje się on na długość i na szerokość (Fig. 13).

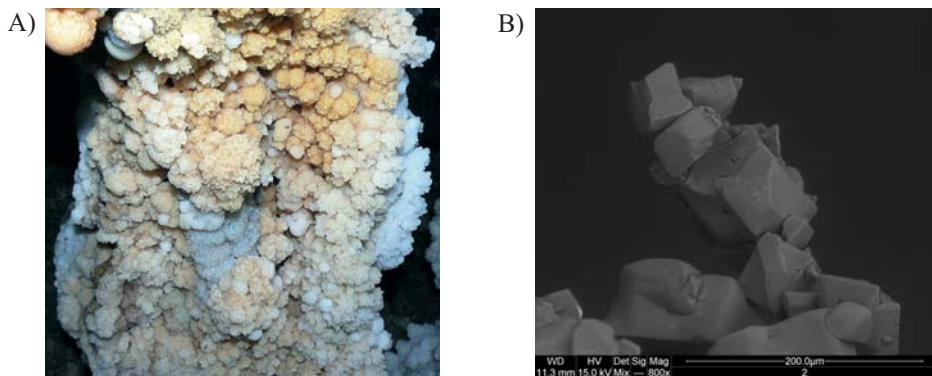


**Fig. 13.** A) Zdeformowany stalaktyt pokryty tlenkami żelaza. B) Obraz mikroskopowy powierzchni stalaktytu halitowego (pokazanego na figurze 13A). SEM

**Fig. 13.** A) Deformed stalactite coated with secondary iron oxides. B) Microscopic picture of halite stalactite (shown figure 13A). SEM

### Stalagmity solne

Tworzą się na spągu pustek kopalnianych, w miejscu gdzie ze stropu lub ścian kapie solanka. Spadająca ze stropu nasycona solanka rozpryskuje się i odparowuje, równocześnie się nasycając. Z tak zagęszczonej solanki krystalizuje drobnokrystaliczny halit, budując stalagmit ku górze (Fig. 14).



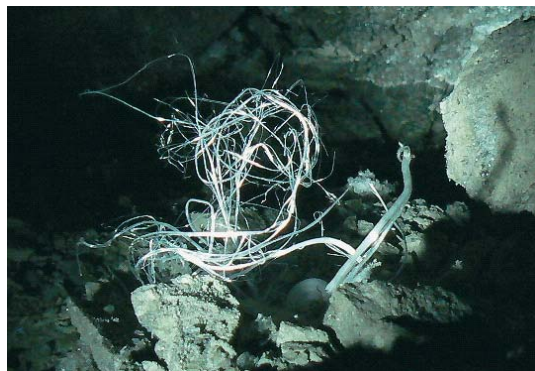
**Fig. 14.** A) Stalagmit o rozbudowanej powierzchni. B) Układ kryształów halitu w strefie wzrostu stalagmitu. SEM

**Fig. 14.** A) Stalagmite showing complicated morphology. B) Structure of halite crystals at the zone of stalagmite growing. SEM

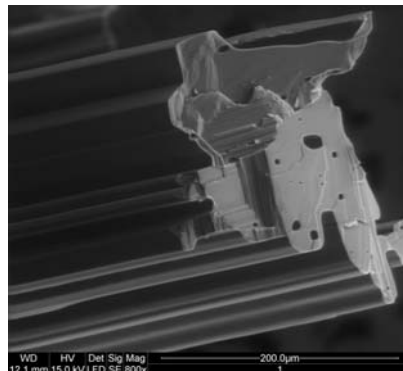
### Halit włóknisty (włosy św. Kingi)

Krystalizacja halitu włóknistego odbywa się w szczelinach z solanki znajdującej się w powietrzu kopalnianym. Są to kryształy rozbudowujące się niemal wyłącznie w jednym kierunku, tzn. w kierunku, z którego dostarczane jest wilgotne powietrze zawierające chlorek sodu. (Fig. 15). W przypadku przedłużania się zjawiska krystalizacji następuje całkowite zablźnienie szczeliny halitem włóknistym.

A)



B)



**Fig. 15.** A) Halit włóknisty na ścianie komory w Wieliczce. B) Końcówka wzrastającego kryształu halitu włóknistego (A). SEM

**Fig. 15.** A) Fibrous halite on the wall of chamber. Wieliczka mine. B) "Growing" end of halite fiber. SEM

## PODSUMOWANIE

Prezentowane powyżej zjawiska nie wyczerpują problematyki związanej z ewaporatami. Mogą jednak stanowić podstawę dyskusji naukowych poszerzających naszą wiedzę o pięknym i pożytecznym świecie minerałów i skał ewaporacyjnych.

## LITERATURA

- Borchert H. & Muir O., 1964. *Salt deposits. The origin, matamorphism and deformation of evaporites*. D. Van Nostrand Company, LTD London, Princetone – New Jersey – New York – Toronto.
- Czapowski G., 1983. Zagadnienia sedymentacji soli kamiennej cyklotemu PZ1 na wschodnim skłonie wyniesienia Łeby. *Przegląd Geologiczny*, 31, 5–12.
- D'Ans J., 1933. *Die losungsgleichgewichte der System der Salze oceanischer Salzblagerungen*. Verlagsgesellschaft für Ackerbau. M.B.H., Berlin.
- Garlicki A., 1968. Autochtoniczna seria solna w miocenie Podkarpacia między Skawiną a Tarnowem. W: *Z badań geologicznych w Karpatach, Biuletyn Instytutu Geologicznego*, 215, 5–78.

- Kucha H. & Pawlikowski M., 1986. Two-brine model of the genesis of strata-bound Zechstein deposits /Kupferschifer type, Poland. *Mineralium Deposita*, 21, 70–80.
- Oschenius C., 1888. On the formation of rock-salt beds and mother liquor salts. Academy of National Science, *Philadelphia Proceedings*, 40, 181–187.
- Pawlikowski M., 1976a. Studium mineralogiczno-petrograficzne utworów terygeniczo-chemicznych złoża solnego Wieliczki. *Prace Mineralogiczne*, 56, 67–123.
- Pawlikowski M., 1976b. Badania nad szybkością krystalizacji i czasem tworzenia się pokładów soli kamiennej w Wieliczce. *Sprawozdania. z Posiedzeń. Komisji. Naukowych. Polskiej Akademii Nauk, Oddział Kraków*, 19/1, 206–207.
- Pawlikowski M., 1980. Z badań mineralogicznych nad gipsami złoża Basznia. *Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Naukowych Polskiej Akademii Nauk, Oddział Kraków*, 20/2, 130–131.
- Pawlikowski M., 1983. Studium mineralogiczno-petrograficzne produktów przeobrażeń gipsów miocénskich w złożu siarki Wydrza. *Prace Mineralogiczne*, 72, 1–59.
- Pawlikowski M., 1986. Procesy przeobrażania gipsów w wapień siarkonośny. *Przegląd Geologiczny*, 7, 379–380.
- Pawlikowski M., 2005a. Określenie zróżnicowania kompleksu zubrów w przekroju wysadu solnego Kłodawy. W: Ślizowski K. (red.), *Badania laboratoryjne zubrów (iłowców solnych) dla oceny możliwości składowania odpadów promieniotwórczych w polskich wysadach solnych*, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków, 21–36.
- Pawlikowski M., 2008. Skąły ewaporatowe (gipsowo-solne). W: Manecki A. & Muszyński M. (red.), *Przewodnik do petrografii*, Uczelniane Wydawnictwa Naukowo-Dydaktyczne AGH, Kraków, 375–386.
- Pawlikowski M. & Książek E., 1975b. Floor-nucleated halite crystals from Wieliczka. - *Mineralogia Polonica*, 6, 2, 99–107.
- Pawlikowski M. & Pająk J., w druku. *Results of mineralogical investigation of evaporates from Taoudenni deposit. West Sahara*.
- Pawlikowski M. & Skowroński A., 1975a. Wyniki mineralogiczno-petrograficznych badań skal mułowcowo-ilastych i zubru z bryłowej części złoża solnego Wieliczki. *Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo Hutniczej, Geologia*, 1, 41–48.
- Pawlikowski M. & Stasik I., 1980. Studium nad zubrami Inowrocławia. *Prace Mineralogiczne*, 66, 78–95.
- Pawlikowski M. & Ślizowski K., 2005. Badania rozszerzalności termicznej oraz zmian masy zubrów w trakcie ich wygrzewania. W: Ślizowski K. (red.), *Badania laboratoryjne zubrów (iłowców solnych) dla oceny możliwości składowania odpadów promieniotwórczych w polskich wysadach solnych*, Wydawnictwo Instytutu Gospodarki Surowcami i Energią Polskiej Akademii Nauk, Kraków, 43–48.
- Pawlikowski M. & Tarkowski J., 1976c. Z badań geochemicznych solanek z soli wielickich. *Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Naukowych Polskiej Akademii Nauk, Oddział Kraków*, 19/1, 204–206.

- Poborski J. & Skoczylas-Ciszewska K., 1963. Tektogeneza mioceńskich złóż soli na Podkarpaciu zachodnim. *Sprawozdania z Posiedzeń Komisji Naukowych Polskiej Akademii Nauk, Oddział Kraków*, 528–530.
- Szybist A. & Toboła T., 1995. Budowa geologiczna złoża Siedlec-Moszczenica w świetle nowych danych. *Przegląd Geologiczny*, 8, 682–686.
- Toboła T., 1999. *Petrologiczna i geochemiczna charakterystyka soli mioceńskich w Polsce*. Zakład Złóż Rud i Soli, Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków (praca doktorska, manuskrypt).

## Summary

Regardless of the type of crystallizing evaporites (minerals), the crystallization itself takes place as a result of exceeding the solubility product of the given mineral (water densification). That densification may occur as a result of both phenomena, namely water evaporation (the model originally described by Oschenius (1888), or water cooling.

### A. Condensation of water in a basin through evaporation

In the classic model described by Oschenius (1888), water gets thickened in a closed basin (that is such to, which no fresh water is supplied) through evaporation. After the volume of water has been reduced and its solubility product has been exceeded, successive evaporate minerals get crystallized (D'Ans 1933, Borchert & Muir 1964). A sediment is created, which has the nature of a salt cyclothem, whose floor contains evaporates of the lowest solubility, while its roof contains evaporites of the highest solubility. Starting from a certain moment, biological life vanishes in that basin. When such conditions continue to exist longer, such basins dries out completely.

### B. Condensation of water in a basin through cooling

In this basin model, water gets thickened as a result of evaporation in the shelf zone. Following partial evaporation, water densifies and increases its specific gravity. Since it is heavier, it drops down to the bottom and migrates along the shelf slope to deep parts of the basin (Figs 1–13). During its migration, it cools down (even to the temperature of + 4°C), and becomes thicker. After having exceeded subsequent density levels, that is values of solubility product for specific minerals, crystallization of respective evaporites follows, and zones of evaporite crystallization, diversified facially. Evaporite minerals may crystallize directly on the basin bottom in large crystalline forms (halite, large-crystalline gypsum). In that case, on top walls of the crystal growth there are grains of detrital minerals (quartz, clays, etc.), which fell from the water depths to the wall surfaces. It is in that way that salts and large- -crystalline gypsums were created.

Evaporites may also crystallize in the water depths of the evaporation basin. After crystallization has been initiated, crystals fall to the bottom just like snowflakes. They are small, and when sedimenting on the bottom, they form laminated sediments.

By contrast, as far as their genesis is concerned, rocks that contain evaporate minerals may be split into the following classes:

- primeval evaporites,
- detrital evaporites,
- metamorphosed evaporites.

### **Primeval evaporites**

These are evaporites, which were formed in an evaporation basin (A, B), and were not subjected to any alterations (deformations). The structures of those rocks are crystalline, since minerals that make them were formed as a result of crystallization. Therefore, structures of primary evaporite rocks are crystalline and not grainy.

### **Detrital evaporates**

Their genesis is such as that of sedimentary clastic rocks. They are created as products of mechanical destruction of evaporate sediments, and can be formed in both water and land environments. Owing to their genesis and mineralogical and petrographic nature, although made of evaporate minerals (i.e. those that occur on a secondary deposit), those sediments are detrital in their nature. Accordingly, their structures are grainy – not crystalline.

#### *Detrital evaporites that are formed in a water environment*

In a water environment, sloping bottom flows in evaporation basin may occur. The results of that phenomenon include, among other things, sedimentary salt mudstones, which develop after salt clays have been mixed with halite. Detrital salt mudstones are represented by deformed and crushed crystals or their aggregates that constitute fragments of rock salt deposits.

#### *Detrital evaporites that are formed in a land environment*

Processes of mechanical weathering lead to disintegration of evaporites. Halite and some other evaporite minerals are soft and quickly become totally destructed mechanically. Hence halite sands or gravels are rare and known to be found only in desert areas, in which salts become disintegrated.

Forms that are found more often include breccias, gravels, sands, and gypsum or anhydrite silts. Sediments of that type are formed of evaporate minerals, but they are detrital sediments. That is why the structures of those rocks are grainy.

### **Metamorphosed evaporites**

In geological conditions, it is just that type of evaporites (metamorphosed evaporites) that we deal with most often. This is due to the fact that majority of evaporate minerals are soft and easily transformable. Since rocks have metamorphic genesis, their structures are blastic (they are neither grainy, nor crystalline), typically like in metamorphic rocks.

*Evaporites metamorphosed as a result of diastrophic (pressure) metamorphism*

The metamorphization of evaporites under pressures (most often directional ones, without an increased temperature) leads to continuous and discontinuous deformations of deposits. Salts (e.g. the rock salt) undergo continuous deformations, thus creating folds, scales and overthrusts, which are typical for plicative tectonics, being the result of forces acting in directions that are tangent to the surface of the Earth. Rock salts, which were transformed as a result of diastrophic metamorphism, are made of halite, which takes the form of blasts, that is elongated, deformed “grains”, which often have an elongated, spindle-like shape. Gas-liquid inclusions and included grains extend along lines that repeat the spindle-like shape of blasts.

*Evaporites metamorphosed as a result of regional metamorphism  
(at an increased pressure and high temperature)*

High pressure and temperature result in numerous transformations of evaporites. Gypsums just like other hydrated salts become undergo hydration. Expelling water and reducing its volume, gypsum converts into anhydrite. When under those conditions, halite may turn into its liquid phase so that, when cooled down, it again gets crystallized in the form of blasts. In halite subjected to regional metamorphism, blasts have frayed and irregular contours, and areas of their contact with other halite blasts take the forms of indented, irregular lines. Inclusions, which occur in so-created halite, have the character of “micro-xenoliths”, and their distribution in blasts is accidental.

*Evaporites subjected to hydrothermal and pneumatolitic transformations*

That type of transformations is connected with regional metamorphism, including especially brines that circulate within the diapir. Water in those brines may in part come from dehydration of hydrated evaporite minerals during burying and simultaneous heating of them in the process of regional metamorphism. That phenomenon may include crystallization of various secondary minerals in previously metamorphosed salts. Those minerals may include potassium salts, magnesium salts, sulphates, halite, and others.

**Evaporite karst phenomena**

Karst phenomena in evaporate sediments are known, for example, in the form of gypsum caves (near Busko in Poland). Evaporate karst can also be found in gypsum overburden of salt deposits.

Crystallization of minerals considered to be evaporite ones, including especially crystallization of halite in mining caverns, may also be regarded to be karst-type phenomena.

*Salt stalactites (macaroni)*

They crystallize on chamber roofs, in places where drops of brine appear. Brine evaporating from the surface of those drops gives origin to a tubular stalactite form. Next, brine flowing down the stalactite, and then evaporating at its end, provides sodium chloride for the crystallization of the stalactite.

*Salt stalagmites*

They are formed on floors of mining caverns, in places in which brine drips from the roof or from the wall. The saturated brine, dripping from the roof, splashes and evaporates, getting saturated at the same time. The so-thickened brine crystallizes to form fine-crystalline halite.

*Fibrous halites ("St. Kinga's Hair")*

Crystallization of fibrous halite takes place in crevices, from brine that is present in the mine air.

**Final conclusions**

The above-presented phenomena do not exhaust all problems related to evaporates. They can, however, provide basis for scholarly discussions, which broaden our knowledge of beautiful and useful world of evaporate minerals and rocks.