

Kopalnie soli na świecie / Salt Mines in the World

Pierwotnym źródłem soli są wody mórz i oceanów, których zasolenie waha się od 3,3–3,7%. Jako średnie zasolenie przyjmuje się wartość 3,5%. Wśród soli rozpuszczonych w wodzie morskiej przeważa NaCl (ponad 85% wagowych). Najmniejsze koncentracje soli stwierdzono w wodach Arktyki i Antarktydy. Niektóre morza mają zasolenie mniejsze od średniego, bo np. w Bałtyku stwierdzono zasolenie 0,78%, co tłumaczy się dużym dopływem wód niesionych przez duże rzeki (Wisła, Odra, Niemen) oraz słabą wymianą wód z Oceanem Atlantyckim poprzez cieśniny duńskie i Morze Północne. O wiele wyższe nagromadzenie rozpuszczonych soli, znacznie przekraczające wartości średnie stwierdzono np. w Morzu Czerwonym (około 4%) i w Morzu Martwym (17%, a miejscami nawet przekraczające 24%).

Światowe złoża soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych

1. Tworzenie się osadów solnych w dawnych epokach geologicznych i współcześnie

Złoża solne należą do złóż osadowych, powstałych w wyniku odparowania w zbiornikach z naturalnymi roztworami solnymi. Jako osady chemiczne wytrącone w procesie odparowywania, noszą także nazwę **ewaporaty** lub **złoża ewaporacyjne** (od łacińskiego *evaporare* – **odparowywać**). W języku angielskim powszechnie przyjęto nazwę **evaporites**.

Pod względem chemicznym złoża ewaporacyjne składają się głównie z chlorków i siarczanów: sodu (Na), potasu (K), magnezu (Mg) i wapnia (Ca), ale mogą tworzyć się również węglany jak np. Na_2CO_3 , a także naturalne azotany (czyli saletry), jak również bromki i jodki (np. sodu czy potasu).

Dzięki doświadczeniom z odparowywaniem wody morskiej i wieloletnim badaniom złóż solnych, została ustalona kolejność wytrącania się osadów z naturalnych roztworów solnych. Stwierdzono, że w początkowej fazie tworzenia się ewaporatów osadzają się utwory klastyczne czyli żwiry, piaski,

Sea and ocean waters, with the salinity ranging between 3.3 – 3.7%, are the primary source of salt. The value of 3.5% percent is assumed as the median salinity value. NaCl (85% by weight) prevails amongst the salts dissolved in sea water. The lowest salt concentrations have been found in the waters of the Arctic and Antarctic. The salinity of some seas is lower than the median, e.g. the salinity of the Baltic has been established at 0.78% which is explained by the substantial inflow of waters carried by big rivers (the Vistula, the Oder, the Neman) and poor water exchange with the Atlantic Ocean and the North Sea via Danish straits. Significantly higher concentrations of dissolved salts, substantially exceeding the median values, have been found in, for example, the Red Sea (c. 4%) and in the Dead Sea (17%, at places exceeding 24%).

World's Deposits of Rock Salt and K-Mg Salts

1. Formation of Salt Sediments in the Past and Present Geological Eras

Salt deposits fall within the category of sedimentary deposits formed as a result of evaporation in reservoirs with natural salt solutions. As chemical sediments precipitated in the evaporation process, they are also called **evaporites** or **evaporite deposits** (from Latin *evaporare* – **to evaporate**). The established English term for them is **evaporites**.

In terms of their chemical composition, evaporite deposits consist mostly of chlorides and sulphates: sodium (Na), potassium (K), magnesium (Mg), and calcium (Ca), however other compounds such as carbonates, e.g. Na_2CO_3 and natural nitrates (i.e. nitres) as well as bromides and iodides (e.g. sodium or potassium) may also form.

Thanks to the experiments with seawater evaporation and many years of research into salt deposits, the sequence of precipitation of sediments from natural salt solutions has been determined. It has been found that in the initial phase of evaporite formation, clastic formations are sedimented, i.e. gravels, sands, claystone, dusts, etc., and therefore, the material transported

ity, pyły itp., a więc materiał znoszony z lądu do basenu sedymentacyjnego za pośrednictwem rzek i innych czynników, jak wiatr, erupcje pyłów wulkanicznych itp. Szczególnie osady ilaste bardzo często odznaczają się cienkim warstwowaniem (laminacja) oraz dużą zawartością substancji bitumicznych i zwęglonych szczątków roślin.

W dalszych etapach sedymentacji tworzą się:

- a) węglany (osady margliste, dolomity, wapienie);
- b) siarczany (gipsy, anhydryty);
- c) chlorki (sole kamienne z domieszkami siarczanów, a w końcowej fazie – sole potasowo-magnezowe).

W wielu złożach solnych obserwuje się takie typowe następstwo, od skał klastycznych i węglanów, poprzez siarczany, chlorki sodu aż po sole potasowo-magnezowe, czyli sekwencję od soli trudno rozpuszczalnych do łatwo rozpuszczalnych w wodzie.

Opisane następstwo osadów powstałych przy jednorazowym odparowaniu roztworu w basenie sedymentacyjnym jest przejawem jednego **cyklu sedymentacyjnego**, a zespół tak utworzonych warstw nosi nazwę **cyklotem**.

Kilkakrotne występowanie tego samego następstwa warstw jest wynikiem powtarzania się takich samych warunków sedymentacji **w dłuższym czasie**. Jest to zjawisko **cykliczności długofalowej**. Wyróżnia się także **cykliczność krótkofalową** czyli **rytmiczność**, której objawem jest powtarzanie się cienkich warstewek lub laminy w obrębie grubszej ławicy soli, gipsu, anhydrytu lub innych skał solnych. Mogą to być również naprzemianległe ciemne i jasne laminy obserwowane w warstwie soli, anhydrytu, gipsu lub osadu marglistego.

Zespół cyklotemów wraz z przegradzającymi je osadami płonnymi nosi nazwę: **seria solna** lub **seria ewaporatów**. Seria solna złożona z pojedynczego cyklotemu należy do zjawisk niezmiernie rzadkich. W osadach solnych polskiego miocenu wyróżnia się 4-5 cyklotemów, w osadach polskiego cechsztynu 4-5 cyklotemów, a w cechszynie Niemiec nawet 6-7 cyklotemów.

W wielu formacjach solonośnych świata występują jeszcze liczniejsze cyklotemy solne.

Na przykład w USA w basenie karbońskim Paradox wydzielono 29 cyklotemów, z których 18 zawiera sole potasowo-magnezowe.

Badania złóż solnych prowadzone intensywnie od początku XIX wieku próbują znaleźć odpowiedź na jedno z podstawowych pytań dotyczących tworzenia się soli: skąd biorą się złoża o miąższości przekraczającej setki a nawet tysiąc metrów? Gdyby współczesne morza i oceany uległy całkowitemu odparowaniu, powstałaby warstwa soli nie przekraczająca grubości 50 m. Opracowano więc kilka teorii tworzenia się złóż soli, które uwzględniają modele basenów:

- a) o zamkniętym układzie hydrologicznym; tego modelu dotyczą:
 - teoria bariery (autor Ochsenius),
 - teoria pustyniowa (autor Walther),
 - teoria wielkich zalewów morskich.

Podstawowym elementem tych teorii jest brak ciągłego połączenia basenu z wodami oceanicznymi.

- b) o otwartym układzie hydrologicznym, przy otwartym połączeniu z wodami mórz z którym wiążą się:

to the sedimentary basin by rivers and other factors such as the wind, volcanic eruptions of dust, etc. Claystone sediments in particular are marked for their thin bedding (lamination), high content of bituminous substances and charred plant detritus.

During the further stages of sedimentation, the following form:

- a) carbonates (marly sediments, dolomites, limestone);
- b) sulphates (gypsum, anhydrite);
- c) chlorides (rock salt with sulphate admixtures whereas during the final stage – K-Mg salts).

Such a typical sequence, from clastic rocks and carbonates, through sulphates, sodium chlorides as far as K-Mg salts, i.e. the sequence from low water-solubility salts to those highly soluble in water can be observed in many salt deposits.

The described sequence of sediments formed at the single evaporation of the solution in the sedimentary basin is a manifestation of a single **sedimentary cycle** whereas a set of layers thus formed bears the name of **cyklotems**.

The repeated occurrence of the same layer sequence results from the repeated identical sedimentation conditions **during a longer period of deposition**. This is the phenomenon **of the long-term cyclic sedimentation**. The **short-term cyclic sedimentation**, i.e. **rhythmicity**, is also distinguished. It is manifested by repetition of thin layers or laminae within a thicker bed of salt, gypsum, anhydrite, or other salt rocks. They can also have the form of alternating dark and light laminae found in a layer of salt, anhydrite, gypsum, or marly sediment.

The set of cyklotems together with barren sediments separating them is called: **a salt series** or an **evaporite series**. A salt series consisting of a single cyklotem is an extremely rare phenomenon. In Polish Miocene salt sediments, there are 4-5 cyklotems, in Polish Zechstein sediments – 4-5 cyklotems whereas in the German Zechstein, even 6-7 of them.

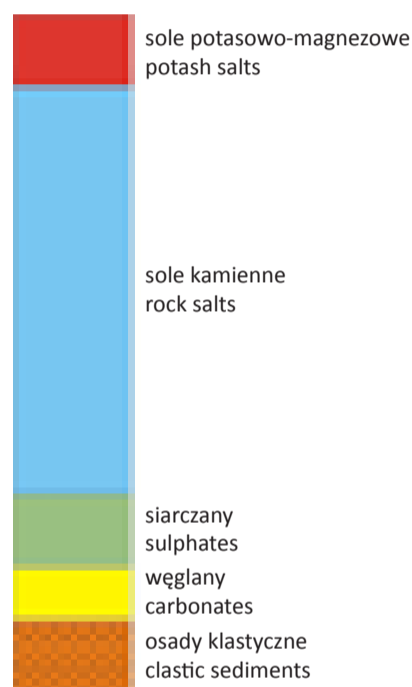
Many salt-bearing formations of the world feature even more numerous salt cyklotems.

For example, in the US, in the Paradox Carboniferous basin, 29 cyklotems have been distinguished, of which 18 contain K-Mg salts.

The research into salt deposits, conducted extensively since the beginning of the 19th century, attempts to provide an answer to one of the most fundamental questions concerning the formation of salt: what is the origin of the deposits with a thickness exceeding hundreds and even thousands of metres? If the contemporary seas and oceans evaporated completely, the thickness of the layer of salt thus created would not exceed 50 metres. Therefore, several salt deposit formation theories which take the basin models into consideration have been developed:

- a) with the closed hydrological arrangement; the following pertains to this model:
 - the barrier theory (author: Ochsenius),
 - the desert theory (author: Walther),
 - the great marine invasions theory.

The fundamental element of these theories is the lack of a permanent connection between the basin and the ocean waters.



II./Fig. 1. Kolejność osadzania się ewaporatów / Sequence in deposition of evaporites

- teoria głębokiego basenu (autor Schmaltz),
- teoria basenu z odpływem powrotnym (autorzy King, Krumbein & Sloss),
- teoria głębokościowego rozwarstwienia solanki (autorzy Sloss, Neev & Emery),
- teoria szelfu nasyceniowego lub grawitacyjna (autor Richter-Bernburg).

Żadna z przedstawionych teorii nie wyjaśnia wszystkich wątpliwości, ale w znacznej mierze ułatwiają one rekonstrukcję warunków, jakie panowały w trakcie tworzenia się osadów solnych.

W geologicznej historii Ziemi osady solne tworzyły się od najdawniejszych czasów, od proterozoiku po czasy nam współczesne. Na różnych kontynentach zaznaczały się okresy o szczególnym nasileniu sedymentacji soli.

Przykładowo dla Europy nasilenie takie miało miejsce w górnym sylurze, górnym dewonie, górnym karbonie, w permie i triasie, w górnej jurze, w trzeciorzędzie. Nasilenie sedymentacji soli ma miejsce w czasie lub tuż po orogenezach o zasięgu światowym. Zależy ono od czynników klimatycznych i diastrofizmu. Nagłe zmiany klimatyczne powodują nastanie klimatu suchego i gorącego. Z kolei ruchy diastroficzne są przyczyną zmian klimatycznych oraz przyczyną utworzenia się zbiorników bezodpływowych, zapadlisk itp.

Obszary położone w strefach klimatu suchego i gorącego noszą nazwę **obszarów salinarnych**. Współcześnie obszary te tworzą dwie strefy po obu stronach równika, o zmiennych rozmiarach od 8° do 25° szerokości N i od 8° do 25° szerokości S. Podobnie jak obecnie, obszary salinarne istniały w dawnych epokach geologicznych, ale miały inny przebieg i zasięg. Spowodowane to było innym nachyleniem osi ziemskiej i innym położeniem biegunów. Dobrego przykładu tego zjawiska dostarcza Archipelag Arktyczny w Kanadzie, gdzie miała miejsce długotrwała sedymentacja ewaporatów od syluru po karbon. Innym przykładem jest występowanie wielkich złóż soli kambryjskich na Syberii lub współczesne wydobywanie węgla karbońskich na Spitsbergenie (gdzie także osadziły się karbońskie ewaporaty).

Możliwość nagłych zmian nachylenia osi ziemskiej ujawniły katastroficzne wydarzenia roku 2011 w Japonii, kiedy to po trzęsieniu ziemi i następującej po nim fali tsunami oś ziemską zmieniła położenie o 1,5°.

W historii Ziemi duży wpływ na tworzenie się osadów solnych i ich rozmieszczenie miała również wędrówka kontynentów (ang. continental drift). Jaskrawego przykładu tego zjawiska dostarcza obecne położenie kontynentów Afryki i Południowej Ameryki, które od okresu kredowego znacznie oddaliły się od siebie. Kredowy basen solny środkowej Afryki znajduje swoje przedłużenie na terenie prowincji Sergipe w Brazylii.

Współczesne osady solne tworzą się:

a) z wody morskiej w izolowanych zbiornikach marginalnych, na pograniczu lądu i morza. Rozróżnia się cztery rodzaje takich zbiorników: 1. zatoka, 2. laguna, 3. panew lub salina morska (wykazuje okresowe połączenie z morzem poprzez groblę), 4. jezioro nadmorskie;

b) z innych naturalnych roztworów solnych, jak: wody gruntowe, wody źródeł słonych, błota i moczary słone (solniska) oraz jeziora słone. W grupie

b) With the open hydrological arrangement, with an open connection with sea waters, which the following is connected to:

- the deep basin theory (author: Schmaltz),
- the return flow basin theory (authors: King, Krumbein & Sloss),
- the brine depth stratification theory (authors Sloss, Neev & Emery),
- the saturation shelf theory or the gravitational theory (author: Richter-Bernburg).

None of the presented theories explains all doubts, but they greatly facilitate the reconstruction of the conditions prevailing during the formation of salt sediments.

In the Earth's geological history, salt sediments have formed since times immemorial, from the Proterozoic era until the present day. Periods of

particular intensity of salt sedimentation have been marked on different continents. For example, in Europe such an intensification occurred in the Upper Silurian, Upper Devonian, Upper Carboniferous, Permian, Triassic, Upper Jurassic, and Tertiary periods. The intensification of salt sedimentation occurs during or immediately after worldwide orogenic movements. It is dependent on climatic factors and diastrophism. Sudden climatic changes cause the beginning of a dry and hot climate. In turn, diastrophic movements cause climatic changes and contribute to the forming of endorheic basins (closed basins), foredeeps, etc.

Areas located in dry and hot climate zones are called **salt areas**. Presently, these areas form two zones on both sides of the Equator, with the changeable size ranging from 8° to 25° N and 8° 25° S. Just as they do now, salt areas existed in old geological epochs, however, their course and range were different. This was due to the different Earth axis inclination and different location of the Poles. The Arctic Archipelago in Canada where long-term evaporite sedimentation spans the periods from Silurian to Carboniferous comes as a good example of this phenomenon.

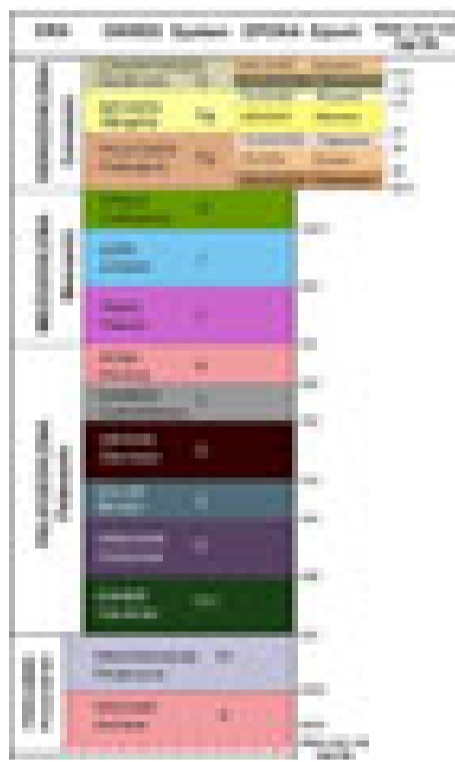
The occurrence of vast Cambrian salt deposits in Siberia or the present day extraction of Carboniferous coal in Spitsbergen (where the Carboniferous evaporites sedimented as well) are further examples of the above-described phenomenon.

The possibility of sudden changes in the Earth's axis inclination was revealed by the catastrophic events of 2011 in Japan when after an earthquake, the Earth's axis changed its alignment by 1.5°.

In the Earth's history, the continental drift also impacted the formation of salt sediments and their spatial distribution. A fine example of this phenomenon is provided by the present layout of Africa and South America, the distance between which has increased significantly since the Cretaceous period. The prolongation of the Cretaceous salt basin of Central Africa is located in the territory of the Sergipe province in Brazil.

The contemporary salt sediments form:

a) from seawater in isolated marginal reservoirs, on the frontier between the land and the sea. There are four types of such reservoirs: 1. a bay, 2. a lagoon, 3. a pan or marine salt pan (with a periodic connection with the sea via a dyke), 4. a coastal lake;



II./Fig. 2. Tabela stratygraficzna / Stratigraphic chart

też najważniejsze są jeziora słone. Należą tu Morze Martwe i Morze Kaspijskie, które w rzeczywistości są śródlądowymi jeziorami bezodpływowymi, nie wykazującymi łączności z akwenami morskimi. Do podobnych, silnie zasolonych jezior śródlądowych zalicza się na terytorium USA: Wielkie Jezioro Słone w stanie Utah oraz jeziora słone stanu Kalifornia i stanu Nevada, jezioro Nikaragua w Ameryce Środkowej, jeziora słone Chin, Rosji (m.in. jez. Baskuńczak) i występujące w wielu innych miejscach na kuli ziemskiej (m.in. Rumunia, Egipt, Irak, Etiopia, Tunis).

Specyficznym środowiskiem sedymentacji salinarnej jest **sebkha**. W przybrzeżnych strefach zachodniej części Zatoki Perskiej, na terytorium Bahrajnu, Kataru i Omanu występują laguny, częściowo odgradzone od zatoki barierami rafowo-oolitowymi. W lagunach tych tworzą się współcześnie osady węglanowe. Od strony lądu na brzegach lagun rozwijają się maty glonowe. Intensywne parowanie obniża poziom zwierciadła solanek porowych w osadzie, co powoduje filtrację wody lagun od linii brzegowej ku lądowi. W wewnętrznej, najbardziej odległej od morza części strefy sebkha powstaje anhydryt, przechodzący w gips.

Innym środowiskiem sedymentacji salinarnej charakterystycznym dla Ameryki jest **playa**. W nadmorskich równinach i kotlinach występują rozległe płaskie powierzchnie utworzone z naniesionych pyłów, przesycone solami.

Ciekawym przykładem tworzenia się soli jest obszar Morza Śródziemnego. Obecnie morze to wykazuje ograniczone połączenie z Oceanem Atlantyckim poprzez Cieśninę Gibraltarską. W wyniku przesuwania się kontynentu Afryki ku północy, w dawnych epokach geologicznych połączenie to było okresowo otwierane i zamykane, a na dnie morskim gromadziły się grube pokłady soli i nadal gromadzą się w wyniku sedymentacji współczesnej. Przesuwając się dalej ku wschodowi Morze Śródziemne także w sposób ograniczony (poprzez cieśniny Bosfor i Dardanele) łączy się z Morzem Czarnym. W strefie dennej głębszej części Morza Czarnego występuje środowisko typowe dla początkowej fazy sedymentacji salinarnej, gdzie w warunkach redukcyjnych gromadzą się osady ciemne, cienko laminowane, zawierające szczątki organiczne i bituminy. Są to typowe osady tzw. facji euksynicznej, której nazwa pochodzi od rzymskiej nazwy Morza Czarnego – *Pontus Euxinus*.

Kolejnym przykładem współczesnej sedymentacji salinarnej jest obszar położony nad Morzem Czerwonym w Erytrei. Znajduje się tam nadmorska depresja Danakil, gdzie temperatura często przekracza 40° C. W tak gorącym klimacie tworzą się obecnie osady solne zawierające również sole potasowo-magnezowe.

2. Wiek i rozprzestrzenienie złóż soli na kuli ziemskiej

Złóża soli na świecie tworzyły się od prekambriu po czasy współczesne i występują na wszystkich kontynentach, rzadko jednak zajmują duże obszary. Współwystępowanie ewaporatów ze złóżami ropy i gazu spowodowało rozwój prac poszukiwawczych na niebywałą skalę. Poszukiwania złóż węglowodorów trwające od 150 lat w znacznej mierze przyczyniły się także do odkrycia i rozpoznania obszarów sedymentacji salinarnej.

Obserwując rozmieszczenie złóż na mapie kuli ziemskiej, rzuca się w oczy fakt, że przeważająca liczba osadów solnych występuje na półkuli północnej, a także obszary zajmowane przez złóża soli są tam największe. Na półkuli południowej wyjątek stanowi kontynent australijski, na którym odkryto najstarsze i dosyć rozległe baseny solne.

b) from other natural saline solutions such as: ground waters, marshlands, salt marshes (salt pans), and salt lakes. In this group, salt lakes feature as the most important. The category includes the Dead Sea and the Caspian Sea, which in fact are landlocked endorheic lakes not connected to marine waters. Similar, high-salinity landlocked lakes include the Great Salt Lake in Utah, USA, and salt lakes in California and Nevada, also in the US, Nicaragua Lake in Central America, salt lakes in China, Russia (the Baskunchak Lake among others) as well as other lakes located in many different locations of the globe (including Romania, Egypt, Iraq, Ethiopia, Tunisia).

A **sebkha** is a specific saline sedimentation environment. Lagoons, partly separated from the gulf with a reef and oolitic barrier are located in the coastal zones of the Western Persian Gulf, on the territory of Bahrain, Qatar, and Oman. Presently, carbonate sediments form in these lagoons. Algal mats develop on the land side of lagoon shores. Intense evaporation lowers the table level of porous brines in the sediment which causes the filtration of lagoon waters from the shoreline towards the land. In the internal, most remote from the sea part of the sebkha zone, anhydrite forms to then undergo a transformation into gypsum forms.

A **playa** is another type of saline sedimentation environment characteristic for America. Coastal planes and dales feature vast flatlands formed of drifting dusts saturated with salts.

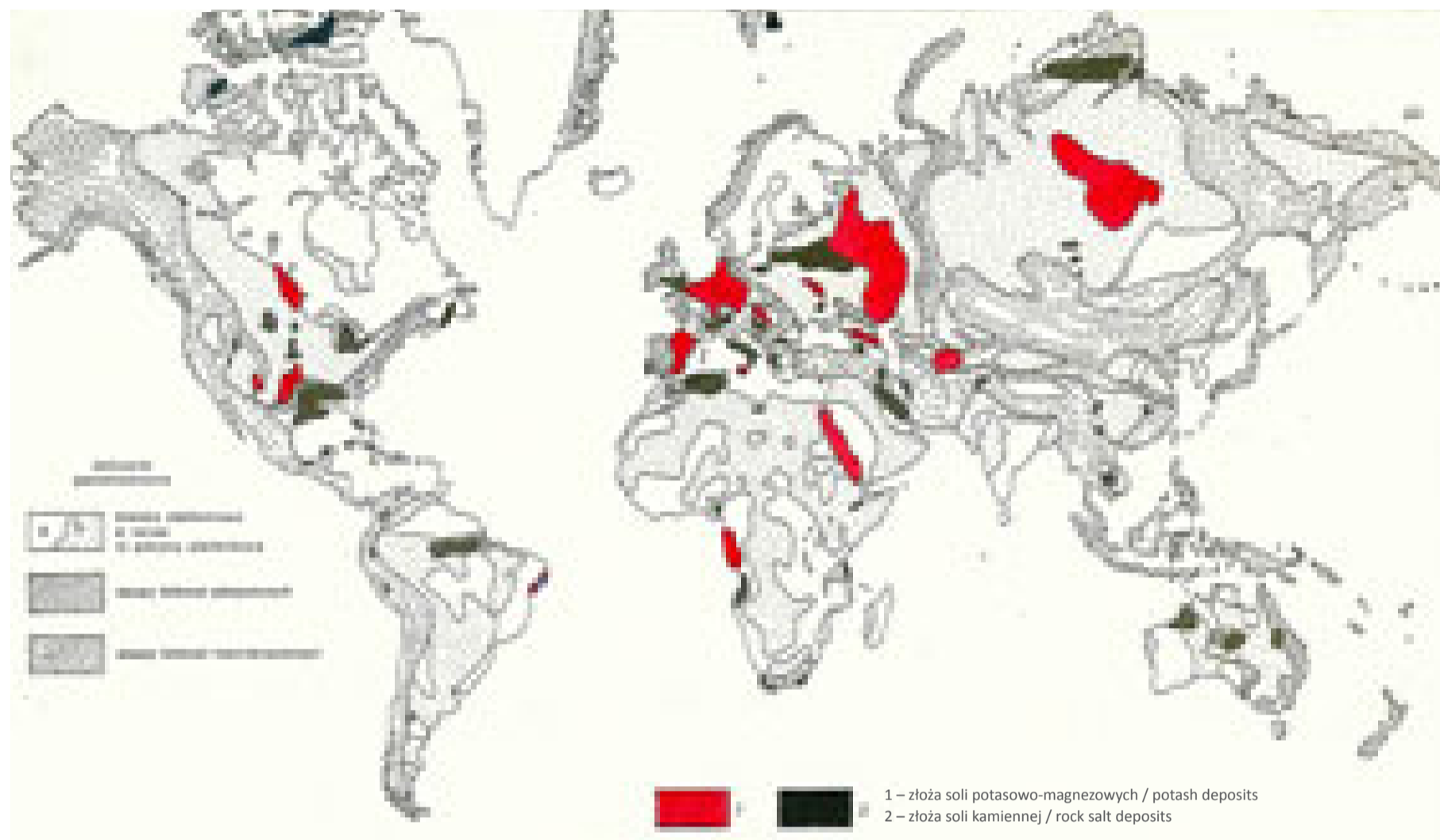
The area of the Mediterranean Sea constitutes an interesting example of salt formation. Presently, the sea has a limited connection with the Atlantic Ocean through the Straits of Gibraltar. As a result of Africa's northward drift, this connection was periodically opened and closed in past geological epochs, while thick salt deposits formed and, as a result of the contemporary sedimentation, continue to form on the seabed. Further east, the Mediterranean forms a limited connection with the Black Sea (through the straits of Bosphorus and the Dardanelles). The seabed zone of the deeper parts of the Black Sea features the environment typical for the initial phase of saline sedimentation where dark, thinly laminated sediments containing organic debris and bitumen accumulate under reductive conditions. They are typical sediments of the so-called euxinic facies whose name originates from the Roman name of the Black Sea – *Pontus Euxinus*.

The area located on the Red Sea in Eritrea is another example of contemporary saline sedimentation. It is Danakil, a coastal depression with temperatures frequently exceeding 40° C. Salt sediments with the K-Mg salts content presently form in such a hot climate.

2. Age and distribution of salt deposits on the globe

Salt deposits formed worldwide from the Precambrian period until the present and are to be found on all continents, nevertheless, they seldom occupy huge territories. Co-occurrence of evaporites with crude oil and natural gas deposits resulted in the progress of prospecting activities on the scale previously unheard of. Prospecting for oil and gas deposits, which has continued for 150 years, has also greatly contributed to discovering and identifying areas of saline sedimentation.

A glance at the global map of salt deposits reveals that the overwhelming majority of salt sediments are located in the northern hemisphere and that the areas occupied by them are also the largest there. In the southern hemisphere, the continent of Australia, where the oldest and relatively vast salt basins were discovered, stands out as an exception.



II./Fig. 3. Złoże soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych na świecie (wg Werner 1977; Kozary 1968; zmienione) / Rock salt and potash deposits of the World (from Werner 1977; Kozary 1968; modified)

Australia

Najstarsze osady napotkano w górnym proterozoiku centralnej części Australii, gdzie w basenie Amadeus stwierdzono osady Bitter Springs Formation wykształcone jako węglany, siarczany i sole kamienne. Osady te tworzą strukturę wysadową, przebijającą się przez osady kambry. Podobne struktury wysadowe, ale młodsze odkryto także w zachodniej i wschodniej części kontynentu.

Azja

Wielkie formacje solonośne wieku kambryjskiego zajmują obszar dorzecza rzek Lena i Jenisej oraz Góry Kołymskie we wschodniej Syberii. Drugi wielki obszar złóż soli, to pasmo ciągnące się na wschód od Półwyspu Arabskiego. Kambryjska formacja Hormuz tworzy tam złoże w Indiach i Pakistanie (prowincja Salt Range), gdzie występują także sole potasowo-magnezowe, w Iranie (prowincja Laristan) i liczne wysady solne w rejonie Zatoki Perskiej (także pod dnem morza). Dewońskie sole napotkano w Mongolii i w południowej Syberii, a sole triasowe na terenie Khorat Plateau w Tajlandii. Jurajskie osady solne ciągną się od przedpola tarczy arabskiej po Pamir i Chiny. W południowej Azji wyróżniono również kilka mniejszych basenów z trzeciorzędowymi osadami solnymi.

Australia

The oldest Upper Proterozoic sediments have been discovered in Central Australia, where Bitter Springs Formations rocks were found in the Amadeus basin in the form of carbonates, sulphates, and rock salts. The sediments form a diapiric structure, piercing through Cambrian sediments. Similar diapiric structures, however younger, were also discovered in the Western and Eastern parts of the continent.

Asia

Gigantic salt-bearing formations of the Cambrian age take up the Lena and the Yenisei River basin area and the Gydan Mountains in Eastern Siberia. Another huge area of salt deposits is a band stretching east of the Arabian Peninsula. The Cambrian Hormuz formation makes up the deposits in India and Pakistan (Salt Range province), where K-Mg salts are also found, in Iran (Laristan province) and numerous salt diapirs in the Persian Gulf area (also under the seabed). Devonian salts were discovered in Mongolia and Southern Siberia whereas Triassic salts were identified in the Khorat Plateau in Thailand. Jurassic salt sediments spread from the Arabian Shield foreground as far as Pamir and China. Several smaller basins with Tertiary salt deposits were also identified in southern Asia.

Europa

Na względnie małym kontynencie europejskim formacje solonośne zajmują wyjątkowo duże obszary. Do najstarszych należą osady solne dewonu, które wypełniają basen bałtycko-nowgorodski, a przede wszystkim rozległy basen Prypeci ze złożami soli K-Mg, eksploatowanymi na wielką skalę przez górnictwo Białorusi. Basen Prypeci (noszący także nazwę basen Starobinski) zajmuje obszar około 2 000 km². Pokłady soli potasowo-magnezowych o miąższości od 2 do 39 m występują na głębokości od 350 do 1000 m. Sole potasowo-magnezowe to głównie skały sylwinitowe, w mniejszym stopniu karnalitowe.

Terytorialnie największy zasięg ma permska formacja solonośna, która ciągnie się od Europy północno-zachodniej po środkową, zajmując duże obszary następujących krajów: Wielka Brytania, Holandia, Dania, Niemcy, Polska i Litwa. Północna odnoga tego basenu ma przedłużenie pod dnem Morza Północnego i na wschód od Półwyspu Kola łączy się z drugą częścią basenu permskiego, rozciągającego się od przedgórza Uralu po obszar Morza Kaspijskiego. Na tym terenie znajdują się klasyczne profile permu (Gubernia Permska). Po zachodniej stronie Uralu w dorzeczu górnej Kamy złoża soli odkryto w roku 1925 na obszarze około 1500 km². Seria potasonośna o miąższości około 120 m występuje na głębokości 250-850 m i składa się z pokładów sylwinitów i skał karnalitowych o miąższości dochodzącej do 20 m.

W cechsztyńskim (górnopermskim) basenie solnym Niemiec sole potasowo-magnezowe występują na obszarze ponad 150 000 km², w trzech oddzielnych od siebie lokalnych basenach.

Z kolei w tych basenach wyodrębniono kilka okręgów górniczych, w których sole K-Mg są wykształcone odmiennie. Na tak dużym obszarze Niemiec zbudowano liczne kopalnie soli, w których ma miejsce oddzielna eksploatacja soli kamiennej lub soli potasowo-magnezowych. Głównie eksploatowane są sylwinity, w mniejszym stopniu skały karnalitowe i sole twarde.

W Wielkiej Brytanii cechsztyńskie sole potasowo-magnezowe odkryto w okolicy Whitby na głębokości 1000-1300 m, gdzie napotkano skały złożone z karnalitu i polihalitu, a pokłady najbogatszej serii sylwinitowej osiągały miąższość do 10 m.

Do tego samego rozległego europejskiego basenu permskiego należą osady cechsztynu Polski, zajmując ponad 55% powierzchni kraju. Złoża solne cechsztynu występują w północnej części kraju na tzw. Wyniesieniu Łeby, na dużym obszarze wału kujawsko-pomorskiego od okolic Szczecina po okolice Łodzi i na monoklinie przedsuddeckiej (Dolny Śląsk). Na szczególną uwagę zasługuje obszar szczecińsko-łódzki, gdzie miąższości osadów cechsztynu są największe, ale równocześnie sole leżą na głębokości nawet kilku kilometrów i w postaci licznych struktur wysadowych przebijają się ku powierzchni przez skały nadkładu. Te struktury solne stały się bazą surowcową dla górnictwa soli kamiennych na Kujawach, którego działalność rozpoczęła się już w XIX wieku.

W triasie na terenie Europy baseny solonośne zajmowały: Półwysep Iberyjski, Akwitanię, Apeniny – Sycylię, Bałkany, północno-zachodnią Europę i część zachodniej Polski. Sole kamienne były eksploatowane w Anglii, Holandii, Niemczech, Austrii, Szwajcarii, Francji i Hiszpanii. Alpejskie złoża stanowiły kolebkę starego kopalnictwa solnego w czasach Imperium Rzymskiego. Wcześniej były one miejscem prehistorycznego górnictwa solnego.

W trzeciorzędzie (paleogen + neogen) sole kamienne osadziły się w Basenie Paryskim, Rowie Renu, w basenach Iberyjskich, w basenie Apeniny

Europe

Salt-bearing formations take up exceptionally large areas of the relatively small European continent. The oldest of them include Devonian salt sediments, which occupy the Baltic-Novgorod basin and, first and foremost, the vast Pripyat basin with K-Mg salt deposits exploited on a huge-scale by the Belarus mining industry. The Pripyat basin (also known as the Starobinski basin) occupies an area of approximately 2,000 km². K-Mg salt deposits with the thickness ranging from 2 to 39 m are found from 350 to 1,000 m below the ground. K-Mg salts are mainly sylvinite rocks, while carnallite rocks occur to a lesser degree.

The Permian salt-bearing formation, stretching from North-western Europe as far as Central Europe and occupying substantial areas of Great Britain, Holland, Denmark, Germany, Poland, and Lithuania, is the biggest in terms of territory. The northern branch of the basin extends under the bed of the North Sea to join, with the second part of the Permian basin stretching from the foothills of the Ural as far as the Caspian Sea area, east of the Kola Peninsula. Classic Permian profiles are to be found within this area (Perm Governorate). On the Ural's Western side, salt deposits on an area of approximately 1,500 km² were discovered in 1925 in the Upper Kama river basin. An approximately 120 m thick potassium-bearing series, consisting of sylvinite and carnallite rock deposits with the thickness reaching up to 20 m, is located 250-850 m below ground level.

In the Zechstein (Upper Permian) salt basin of Germany, K-Mg salts are found in three separate local basins over the area exceeding 150,000 km².

In turn, several mining regions where the K-Mg salts formed differently have been isolated within these basins. This huge area of Germany was developed with multiple salt-mines where rock salt or K-Mg salts are extracted separately. Main extracting operations focus on sylvinite while **carnallite** rocks and hard salts are exploited to a lesser degree.

In Great Britain, Zechstein K-Mg salts were discovered in the area of Whitby. They are located 1,000-1,300 m below ground level where rocks consisting of carnallite and polyhalite were encountered whereas the thickness of the most abundant sylvinite series deposits reaches 10 m.

Poland's Zechstein sediments, occupying more than 55% of the country's territory, are a part of the same vast European Permian Basin. Zechstein salt deposits are found in the northern part of the country, in the area of the so-called Leba Elevation, on a substantial part of the Central Polish Anticlinorium from the area of Szczecin to the area of Lodz and on the Fore-Sudeten Monocline (Lower Silesia). The Szczecin-Lodz area commands particular attention due to the biggest thickness of Zechstein sediments, however, at the same time the salts are located even several kilometres below ground level and they pierce through overburden rocks in the form of diapiric structures. These saline structures provided the raw material base for rock-salt mining in the Kujawy, which dates back to the 19th century.

During the Triassic period, salt-bearing basins in Europe covered: the Iberian Peninsula, Aquitaine, the Apennines – Sicily, the Balkans, North-Western Europe, and a part of Western Poland. Rock salts were exploited in England, Holland, Germany, Austria, Switzerland, France, and Spain. The alpine deposits were the cradle of old salt mining in the times of the Roman Empire. Earlier, they were sites of prehistoric salt mining.

In the Tertiary period (Palaeogene + Neogene), rock salts sedimented in the Paris Basin, Rhine Rift, in Iberian basins, in the Sicily– Apennines Basin, in Transylvania (formerly known as *Siebenbürgen* [Seven Fortresses]), in

– Sycylia, w Transylwanii (dawna nazwa Siedmiogród), w basenie Dynarydów na Bałkanach i w basenie przedkarpackim. Ten ostatni utworzony jako typowy rów przedgórski wykazywał ograniczone połączenie z morzami otwartymi. W nim utworzyły się starsze formacje solonośne miocenu na Ukrainie, a następnie badenijskie osady miocenu, które na terenie Polski pozostawiły osady na obszarze Górnego Śląska i w rozległym pasie od Wieliczki po Przemyśl, a następnie dalej na południowy wschód wzdłuż łuku karpackiego po Rumunię.

Trzeciorzędowe złoża soli potasowo-magnezowych Francji znane są w dolinie Renu, na obszarze Alzacji, gdzie zajmują obszar około 200 km².

Na terenie Hiszpanii liczne trzeciorzędowe złoża soli występują w południowej i wschodniej części kraju.

Najważniejsze złoża soli potasowo-magnezowych występują w dwu prowincjach: Katalonia i Navarra, w osadach eocenu i oligocenu. W Katalonii znajduje się od dawna eksploatowane znane złożo Cardona, w którym głównie występuje karnalit z halitem. Inne złoża zawierają także pokłady sylwinitu, o miąższości dochodzącej do 8 m.

We Włoszech złoża soli potasowo-magnezowych wieku trzeciorzędowego zajmują południowo-zachodnią część Sycylii na obszarze około 4 000 m² i występują na głębokości do 900 m.

Afryka

W krajach Maghrebu utworzyły się triasowe złoża w Górach Atlasu, z antyklinami, wysadami a nawet lodowcami solnymi. Baseny wieku kredowego znajdują się w Senegalu, Libii, Nigerii, Gabonie, Angoli i w południowo-zachodniej Afryce (Tanzania).

W trzeciorzędzie sole osadzały się w Zatoce Syrty i w rowie Morza Czerwonego.

Ameryka Południowa

Sole wieku karbońskiego osadziły się w basenie dolnej Amazonki, sole permskie w basenie Andów i w basenie Pedro del Fogo (Peru, Brazylia), sole triasowe tworzą oddzielne baseny w Peru, Boliwii, Argentynie i Brazylii. W kredzie wyróżnia się tylko jeden basen Sergipe – Alagoas, który był już wymieniony jako przykład łączności z basenami środkowo-zachodniej Afryki (przed oddzieleniem się Ameryki Południowej od Afryki).



II./Fig. 4. Mapa tektoniczna Zatoki Meksykańskiej (wg King & Edmonston 1972; uproszczone) 1 – osady platformowe na podłożu paleozoicznym; 2 – osady platformowe na podłożu prekambryjskim; 3 – wysady i diapiry solne; 4 – wulkan; 5 – warstwy powierzchni podłoża pod obszarami platformowymi (wszystkie warstwy poniżej poziomu morza, co 1000 m); 6 – uskoki normalny / Tectonic map of the Gulf of Mexico (from King & Edmonston 1972; simplified) 1 – platform deposits on Paleozoic basement; 2 – platform deposits on Precambrian basement; 3 – salt domes and salt diapirs; 4 – volcano; 5 – contours on basement surfaces beneath platform areas (all contours are below sea level, interval 1.000 metres); 6 – normal fault

the Dynaride Basin in the Balkans, and in the Pre-Carpathian Basin. The latter one, formed as a typical sub-mountain rift, had a limited connection with the open seas. It was within this basin where the older Miocene salt-bearing formations in Ukraine sedimented to be later followed by Miocene sediments of the Badenian stage, which on the territory of Poland left sediments in the area of Upper Silesia and in the vast belt stretching from Wieliczka to Przemyśl and then further to the south east, along the arch of the Carpathians as far as Romania.

In France, Tertiary K-Mg salts deposits are located in the Rhine Valley in Alsace where they occupy an area of approximately 200 km².

In Spain, numerous Tertiary salt deposits can be found in the southern and eastern parts of the country.

The most important K-Mg salts deposits are located in two provinces: Catalonia and Navarra, in Eocene and Oligocene sediments. The long-exploited and well-known Cardona deposit of mostly carnallite and halite is located in Catalonia. Other deposits also contain sylvinite beds with the thickness reaching 8 m.

In Italy, Tertiary age K-Mg salt deposits occupy the south-western part of Sicily on the area of c. 4,000 m² and are located at the depth reaching 900 m.

Africa

In Maghreb countries in the Atlas Mountains, Triassic deposits formed with anticlines, diapirs, and even saline glaciers. Cretaceous age basins are to be found in Senegal, Libya, Nigeria, Gabon, Angola, and in south-western Africa (Tanzania).

In the Tertiary, salts sedimented in the Gulf of Sidra and in the Red Sea rift.



II./Fig. 5. Japońskie opakowanie soli jadalnej / Japanese table salt pack. Fot./Photo by Tomasz Toboła

South America

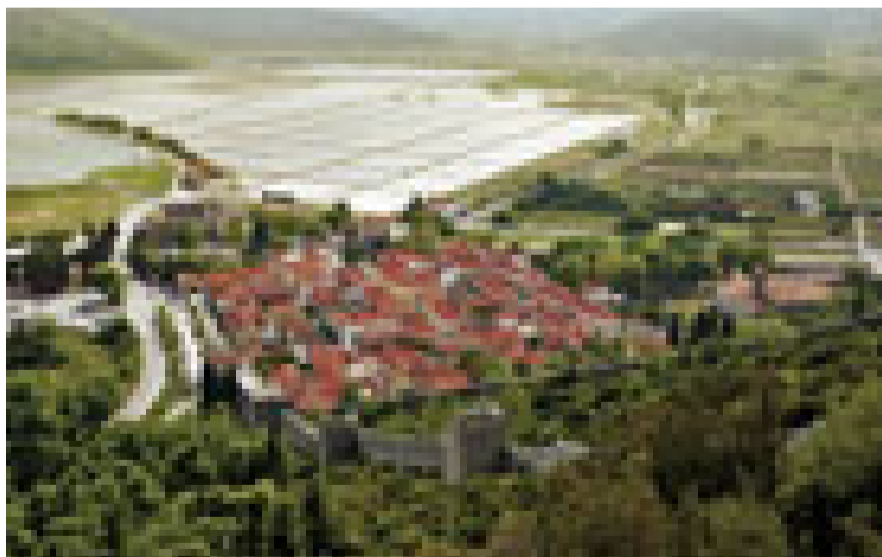
Carboniferous age salts sedimented in the lower Amazon basin, Permian salts in the Andes basin and in the Pedro del Fogo basin (Peru, Brazil), Triassic salts form separate basins in Peru, Bolivia, Argentina, and Brazil. Only one Cretaceous basin is distinguished – the Sergipe – Alagoas Basin, which has already been mentioned as the example of the connection between the basins of Central and Western Africa (before the detachment of South America from Africa).



Il./Fig. 6a. Salina morska w Pomorie, Bułgaria / A coastal saltpan in Pomorie, Bulgaria.
Fot./Photo by Valery Hristov



Il./Fig. 6b. Salina w Trapani i Paceco, Sycylia / A salt pan in Trapani and Paceco, Sicilia
Fot./Photo by Gaetano Catalano



Il./Fig. 6c. Salina w Ston, Chorwacja / A salt pan in Ston, Croatia
Fot./Photo by Adam Sowa

Ameryka Północna

Najstarsze osady solonośne zaliczane do prekambriu stwierdzono w Kanadzie poza kołem podbiegunowym na terenie Archipelagu Arktycznego (Arctic Islands). Sedymentacja salinarna trwała tam jeszcze od kambru po karbon.

W górnym sylurze największy basen powstał nad Wielkimi Jeziorami, obejmując swym zasięgiem stany: Michigan, Ohio, Pensylwania, Nowy Jork i Virginia. Występująca tam formacja Salina zawiera bogate i od dawna eksploatowane złoża soli. Największy dewoński basen solny zajmuje duży obszar kanadyjskich prowincji: Alberta, Saskatchewan i Manitoba. Formacja Prairie w centrum tego basenu osiąga miąższość ponad 210 m, a górne 60 m tej formacji składa się z kilku poziomów soli potasowo-magnezowych rozdzielonych solą kamienną. Miąższości pojedynczych poziomów dochodzą do 6 m, a w skład tych poziomów wchodzi głównie skały sylwinitowe i karnalitowe. Strop formacji Prairie występuje na głębokości od 600 m w części północnej do ponad 2400 m w południowej części basenu przy granicy ze Stanami Zjednoczonymi. Znajdują się tam jedne z największych złóż soli potasowo-magnezowych Świata.

Karbońskie sole na terenie USA osadziły się głównie w basenach: Wiliston i Paradox, a we wschodniej Kanadzie na terenie Nowej Szkocji i Nowego Brunswiku.

W basenie górnopermskim głównie na obszarze stanów Teksas i Nowy Meksyk, w lokalnych basenach Delaware i Midland utworzyły się osady solne zaliczane do serii Guadalupe i serii Ochoa. Rozległe złoża solne ułożone są poziomo, rozciągają się na obszarze około 100 000 km² i zawierają duże zasoby soli potasowych. Eksploatuje się tam głównie skały sylwinitowe.

Jurajskie złoża soli to wysadowe struktury solne (diapiry) formacji Louann Salt przebijające się przez skały nadkładu z głębokości dochodzącej nawet do 20 km.

Bardzo liczne takie wysady wykryto zarówno pod dnem Zatoki Meksykańskiej jak i na lądzie przyległym do zatoki. Od wielu lat zainteresowanie tymi strukturami wynika z tego, że w ich otoczeniu utworzyły się pułapki ze złożami ropy naftowej, a czapy wysadów zawierają bogate epigenetyczne złoża siarki rodzimej.

Metody wydobywania soli

1. Jeziora słone i saliny nadmorskie

Najstarsze stosowane sposoby otrzymywania soli polegają na odparowaniu wody z jezior słonych lub wody morskiej, w warunkach klimatu ciepłego i suchego. W przybrzeżnych lagunach nadmorskich okresowo połączonych z otwartym morzem lub zasilanych wodą w czasie przypliwów, następuje koncentracja głównego składnika wody morskiej – chlorku sodu, a na dnie oddzielonych i kontrolowanych stawów osadza się sól kamienna. Ten sposób otrzymywania soli był już znany w czasach prehistorycznych.

W Mezopotamii duże ilości soli ze źródeł słonych otrzymywali już Sumerowie i Asyryjczycy. W późniejszych czasach wzmianki o eksploatacji źródeł słonych znajdujemy w dziełach Herodota, Pliniusza, Pitagorasa, Plutarcha z Cheronei, a także w Starym Testamencie.

Już w starożytności na brzegach mórz zakładano sztuczne saliny morskie, zwane również morskimi ogrodami solnymi. Tak od niepamiętnych czasów

North America

The oldest salt-bearing sediments, considered to be Cambrian, were identified in Canada, behind the Arctic Circle on the area of the Arctic Islands. Saline sedimentation there continued from the Cambrian period until the Carboniferous.

In the Upper Silurian, the largest basin, covering the states of Michigan, Ohio, Pennsylvania, New York, and Virginia, was formed by the Great Lakes. The Salina formation located there contains rich and long-exploited salt deposits. The largest Devonian salt basin takes up a big part of the Canadian provinces of Alberta, Saskatchewan, and Manitoba. The thickness of the Prairie formation in the centre of this basin exceeds 210 m whereas the top 60 m of this formation consists of several levels of K-Mg salts separated by rock salt. The thickness of individual levels reaches up to 6 m and these levels are composed mostly of sylvinite and carnallite rocks. The roof of the Prairie formation is located 600 m below ground level in the northern part to 2,400 m in the basin's southern part near the border with the US. Some of the world's biggest K-Mg salts deposits are located there.

Carboniferous salts in the territory of the US sedimented mostly in the following basins: Williston and Paradox while in Eastern Canada in Nova Scotia and New Brunswick.

In the Upper Permian basin in the territory of Texas and New Mexico, in the local Delaware and Midland basins, salt sediments classified as parts of the Guadalupe and Ochoa series were formed. Vast salt deposits are arranged horizontally and stretch over the area of approximately 100,000 km². They contain large K-Mg salt resources. Sylvinite rocks are the main subject of exploitation there.

Jurassic salt deposits are diapiric salt structures of the Louann Salt formation piercing the overburden rocks from the depth of even 20 km.

A huge number of diapirs of this type were identified both under the seabed of the Gulf of Mexico and on the land adjacent to the gulf. The long-standing interest in these structures follows from the fact that crude oil traps formed in their vicinity while diapir caps contain rich epigenetic native sulphur deposits.

Salt Extraction Methods

1. Salt lakes and coastal salt pans

The oldest methods of obtaining salt consist in the evaporation of water from salt lakes or seawater in warm and dry climate conditions. In coastal lagoons, periodically connected with open seas or fed by tide waters, sodium chloride, the main ingredient of seawater, is concentrated, while rock salt sediments on the bottom of separate and monitored pools. This method of obtaining salt was already known in prehistoric times.

In Mesopotamia, the Sumerians and Assyrians obtained substantial amounts of salt from salt springs. Later, the exploitation of salt springs gets mentioned in the works of Herodotus, Pliny, Pythagoras, Plutarch of Chaeronea as well as in the Old Testament.

Already in ancient times, artificial sea salt pans, also known as maritime salt gardens, were set up. This is how salt was produced from times immemorial in China, Egypt, Roman Empire, Greece, Persia, Ethiopia, and above all



II./Fig. 7. Wysad solny Mt. Sedom – kamieniołom / The Mt. Sedom salt diapir – the quarry
Fot./Photo by Aleksander Garlicki



II./Fig. 8. Górna część wysadu Mt. Sedom / The topmost part of the Mt. Sedom diapir
Fot./Photo by Aleksander Garlicki



II./Fig. 9. Odstonienie soli w Slanic / A salt outcrop in Slanic
Fot./Photo by Aleksander Garlicki

otrzymywano sól w Chinach, Egipcie, Cesarstwie Rzymskim, Grecji, Persji, Etiopii, a przede wszystkim w wielu krajach położonych wokół wybrzeży Afryki i Morza Śródziemnego.

Japonia, ten gospodarczo silnie rozwinięty kraj jest pozbawiony złóż soli i od dawna aż po dzień dzisiejszy otrzymuje sól z wody morskiej, a Monopol Solny (połączony z Monopolem Tytoniowym) znajduje się pod ścisłym zarządem państwa. Dla soli jadalnej Japończycy stosują różnorodne i kompozycyjnie barwne opakowania.

Tradycyjny przemysł salin nadmorskich kontynuuje swoją działalność u wybrzeży: Półwyspu Indyjskiego, Australii, Morza Czarnego, Morza Śródziemnego, Afryki, Zatoki Perskiej, w Chinach, Rosji, Portugalii i wielu innych krajach Świata. Otrzymywanie soli z wody morskiej może mieć miejsce nawet w krajach nieodznaczających się klimatem ciepłym i suchym (np. w Danii).

Terytorialnie bliskie przykłady salin nadmorskich znajdziemy w Bułgarii nad Morzem Czarnym (saliny w Burgas i w Pomorie).

Inne przykłady takich salin znajdują się na Sycylii, gdzie niezależnie od produkcji soli morskiej ma miejsce podziemna eksploatacja soli, a w przeszłości eksploatowano bogate złoża siarki rodzimej.

Na Sycylii czynne były także inne saliny: Marausa, Abrignano, Abrignanello, Ronciglio, Altavilia, Ettore. W najbardziej znanych salinach Trapani i Paceco utworzono rezerwat przyrody, cieszący się dużym zainteresowaniem.

W Europie także jest czynnych wiele salin morskich, m.in. we Francji, na Cyprze, w Chorwacji, w Słowenii, w Portugalii.

W najdawniejszych czasach sól otrzymywano także z powierzchniowych źródeł słonych, które najczęściej były objawem i zwiastunem płytkiego występowania soli kamiennej.

2. Odkrywkowe kopalnie soli

Jeżeli powierzchniowe złoża soli występują w strefie klimatu suchego i o ograniczonych opadach, wtedy możliwa jest eksploatacja odkrywkowa soli, taka sama jaką prowadzi się w kamieniołomach gipsów, wapieni, piaskowców, granitów itp. W takich zakładach górniczych stosuje się więc otwory strzałowe, materiały wybuchowe, ładowarki, kruszarki, taśmociągi i inne popularne narzędzia górnicze.

Klasycznym przykładem takiego kamieniołomu solnego jest wysad Mt. Sedom nad Morzem Martwym (biblijna Sodoma). Eksploatuje się tam dolną część złoża zawierającą czyste sole ułożone pionowo (il. 7), a w części górnej wyraźnie zaznacza się pojedyncza skała, utożsamiana z żoną Lota zamienioną w słup soli (il. 8). Ta górna część ma więcej zanieczyszczeń, a w jej najwyższej części utworzyła się czapa ilowo-gipsowa podkreślona ciemniejszą barwą brunatną (il. 8).

Inny kamieniołom solny dobrze zachowany w kopalni Slanic Prahova w Rumunii, był już podobno eksploatowany około 2000 lat temu, kiedy to ta część kraju nosiła nazwę Dacia i była wschodnią prowincją Cesarstwa Rzymskiego.

W Chile na pustyni Atacama, na pograniczu lądu i oceanu szeroko rozprzestrzeniło się środowisko, któremu nadano nazwę **salar**. Nazwa ta jest powszechnie używana na Świecie, bowiem angielski termin **salt flat** nie odpowiada w pełni charakterystyce tego środowiska. Są to laguny i równiny nadmorskie, do których spływają wody deszczowe z Andów rozpuszczając

else in many countries located around the coasts of Africa and of the Mediterranean.

Japan, this country of an advanced economy, has no salt deposits and it has, for a long time until the present days, obtained salt from seawater while the Salt Monopoly (combined with the Tobacco Monopoly) is under strict supervision of the state. Table salt in Japan is packed in various and colourful packages.

The traditional coastal salt pan industry continues on the coasts of the Indian Peninsula, Australia, Black Sea, Africa, Persian Gulf, China, Russia, Portugal, and in many other countries of the world. Salt can be obtained from seawater even in countries the climate of which is not necessarily warm and dry (e.g. in Denmark).

Examples of coastal salt pans territorially closest to Poland are to be found in Bulgaria on the Black Sea (the salt pans in Burgas and Pomorie).

Other examples of such salt pans are located in Sicily where, independently of the sea salt production, also underground salt operations are conducted while rich native sulphur deposits were exploited in the past.

Other salt pans were also operated in Sicily: Marausa, Abrignano, Abrignanello, Ronciglio, Altavilia, Ettore. In the most famous salt pans of Trapani and Paceco, a nature reserve was established and it enjoys huge popularity.

Many coastal salt pans are to be found in other countries of Europe, amongst others in France, Croatia, Slovenia, and Portugal.

In the oldest times, salt was also obtained from surface salt springs which most often were a symptom and proof of location of shallow rock salt deposits.

2. Open pit salt mining

If surface salt deposits occur in a dry climate zone with limited precipitation, open pit salt extraction is possible in the fashion of operations conducted in gypsum, limestone, sandstone, and granite quarries. Therefore, such mining plants use blastholes, explosives, loaders, crushers and breakers, conveyor belts, and other popular mining equipment.

A classic example of such a salt quarry is Mt. Sedom diapir on the Dead Sea (biblical Sodom). Extraction operations on this site exploit the lower part of the deposit containing pure, steeply dipping salt beds (Fig. 7) while in the upper part an individual rock is clearly visible, identified with Lot's wife turned into a pillar of salt (Fig. 8). The upper part contains more impurities whereas in its topmost part a claystone-gypsum cap, highlighted with a darker russet hue, has formed (Fig. 8).

Another well-preserved salt quarry in the Slanic Prahova mine in Romania, is supposed to have been exploited c. 2,000 years ago when this part of the country bore the name of Dacia and was an eastern province of the Roman Empire.

In the Atacama Desert in Chile, on the border of the land and ocean, the type of environment given the name of **salar** is commonly widespread. The name is in common use worldwide since the English term of a **salt flat** does not fully correspond with the characteristics of this type of environment. The formation includes lagoons and a coastal plain fed by rain waters of the Andes, which on their way to the ocean dissolve salts, carbonates, and sulphates. Reaching lower located areas, waters are subject to intense evaporation leaving thick deposits of accumulated salts. The intensity of evaporation is entirely understandable if one bears in mind that the annual total



Il./Fig. 10. Odkrywkowa kopalnia soli koło Iquique / Open pit mine near Iquique
Fot./Photo by K. Bukowski

po drodze sole, węglany i siarczany. Osiągając niżej położone tereny, woda intensywnie wyparowuje, a pozostają grube pokłady nagromadzonych soli. Intensywność parowania jest całkowicie zrozumiała jeśli wiadomo, że roczna suma opadów na pustyni Atacama nie przekracza 20 mm. Oprócz soli kamiennych utworzyły się tam bardzo bogate złoża saletry chilijskiej NaNO_3 (inna jej nazwa **nitratyn**). Działa tam także jedna z największych odkrywkowych kopalń soli na Świecie w okolicy miasta Iquique (il. 10), prowadzona przez firmę Sociedad Punta de Lobos.

Zarówno saletra jak i sól kamienna są transportowane wywrotkami do pobliskiego Portu nad Pacyfikiem i eksportowane drogą morską.

3. Ługowanie wodą poprzez otwory wiertnicze z powierzchni

Przy eksploatacji soli stosuje się także tzw. system mokry, polegający na rozpuszczaniu (ługowaniu) soli wodą wprowadzoną do złoża przez otwory wiertnicze wykonywane z powierzchni. Dla wprowadzenia wody do pokładów soli konieczne jest zainstalowanie w otworze kilku kolumn rur, których celem jest odizolowanie warstw nadległych, kontrolowanie szczelnego przepływu wody słodkiej wtłaczanej do złoża i odbieranie wody już zasolonej. Taka wypływająca z jednego otworu solanka zazwyczaj jest słabo nasycona i musi być skierowana do następnych kolejnych otworów, aż do uzyskania wymaganego nasycenia (nasycenie solanki przemysłowej wynosi zwykle 302-305 g/l). Solanka przemysłowa jest końcowym produktem działalności górniczej i może być skierowana rurociągami do warzelni lub innego zakładu przemysłowego (np. produkującego sodę, chlor itp.).

O wiele rzadziej stosuje się system mokrej eksploatacji w wersji podziemnej, czyli ługowanie soli w podziemnych, chodnikach, komorach, szybach itp.

Ługowanie otworami z powierzchni jest prowadzone m.in. w dużej kopalni soli Ocna Mureș w Rumunii. Na załączonej ilustracji uwagę zwraca płytkie, przypowierzchniowe występowanie soli kamiennej na polu eksploatacyjnym.



Il./Fig. 11. Kopalnia Ocna Mureș / Ocna Mureș mine
Fot./Photo by Aleksander Garlicki

precipitation in the Atacama Desert does not exceed 20 mm. Apart from rock salts, extremely rich Chile saltpetre (NaNO_3 , also known as nitratine) deposits formed there. Also one of the world's biggest open-pit salt mines operates there in the vicinity of Iquique (Fig. 10), run by the company called Sociedad Punta de Lobos.

Both saltpetre and rock-salt are transported by trucks to the nearby Pacific port and exported by sea routes.

3. Solution Mining

In salt extraction, the wet system is also used. It consists in dissolving (leaching) salt with water introduced inside the deposit via boreholes made from the surface. To introduce water inside the salt beds, several pipe columns must be installed in the borehole. They are to isolate the overlying layers, control the tight flow of freshwater pumped into the deposit, and to collect the water already saturated with salt. The brine flowing from one borehole is usually not sufficiently saturated and it must be directed to further boreholes until the required saturation is obtained (industrial brine saturation is 302-305 g/l as a rule). Industrial brine is the end product of mining operations and it may be sent by pipelines to salt-works or another industrial plant (e.g. one producing soda, chlorine, etc.).

The wet processing system is a lot more seldom used in the underground version, i.e. salt leaching in underground galleries, chambers, underground shafts, etc.

Solution mining operations with the use of surface boreholes are conducted, amongst others, in a large salt mine in Ocna Mureș in Romania. In the included photograph, the shallow subsurface occurrence of rock salt draws attention.

In Holland, the AKZO NOBEL company exploits Triassic salt deposits in the Hengelo area for the needs of chemical plants. It is an example of harmonious cooperation of industry and environment protection. Built-up drilling towers extracting brine, fashioned after old oil rigs, have been composed into the landscape of parks, parking lots, and other municipal facilities.



Il./Fig. 12. Kopalnia Niedersachsen-Riedel / Niedersachsen-Riedel mine
Fot./Photo by Aleksander Garlicki

W Holandii firma AKZO NOBEL eksploatuje triasowe złoża soli w okolicy Hengelo na potrzeby zakładów chemicznych. Jest to przykład harmonijnego współdziałania przemysłu i ochrony środowiska. Zabudowane wieże wiertnicze eksploatujące solankę, stylizowane na stare szyby naftowe, zostały wkomponowane w krajobraz parków, parkingów i innych urządzeń komunalnych.

Ługowanie otworami wiertniczymi z powierzchni odbywa się również w najbliższej okolicy Preszowa (Słowacja) i w miejscowości Tuzla (Bośnia i Hercegowina).

W Polsce ten typ eksploatacji prowadzono w zakończonej już działalności: bocheńskiej kopalni soli (oddział Łęzkowice) i w zachodniej części kopalni wielickiej (oddział Barycz). Obecnie na Kujawach czynna eksploatacja ma miejsce w 2 oddziałach Inowrocławskich Kopalń Soli „Solino”: w wysadzie Góra i w wysadzie Mogilno.

W skali światowej ten sposób zastosowano także w eksploatacji kanadyjskich dewońskich soli potasowo-magnezowych w prowincji Saskatchewan, w okolicach miejscowości: Saskatoon, Regina i Esterhazy. System ten daje możliwość wydobycia soli występujących nawet na głębokości 1500-1600 m, dla udostępnienia, których zgłębianie szybów i zakładanie poziomów kopalnianych okazałoby się bez porównania kosztowniejsze.



Il./Fig. 13. Kopalnia Gorleben / Gorleben Mine
Fot./Photo by G. Czapowski

Leaching through surface boreholes is also performed in the closest vicinity of Presov (Slovakia) and in the township of Tuzla (Bosnia and Herzegovina).

In Poland, extraction of this type was employed in the operations, now concluded, of the salt mine in Bochnia (Łęzkowice Branch) and in the western part of the salt mine in Wieliczka (Barycz Branch). Presently, active extraction operations are conducted in two branches of Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino”: in the Góra and Mogilno diapirs.

On the world scale, this method was also used in the exploitation of Canadian Devonian K-Mg salts in Saskatchewan province, in the vicinity of townships of: Saskatoon, Regina, and Esterhazy. The system allows salts occurring even 1,500-1,600 m deep to be extracted, gaining access to which by means of shafts and mining levels would prove incomparably more costly.

4. Underground Salt Mines

All over the globe, numerous underground salt mines are in operation, run by huge industrial corporations, commercial companies, private equity, the state treasury, etc. Many mining plants have wound up their salt extraction activities to engage in other roles: economic, medicinal, social, cultural, sporting events, etc.

Presenting a relatively full inventory of active salt mines goes beyond the technical capacity of even the most extensive monograph. The present study aims at presenting the best-known and typical examples of underground mines where salt is extracted.

Underground mining works discovered in the mid-19th century in the town of Hallstatt in Upper Austria belong to the most important preserved traces of prehistoric rock salt mining. At the depth of 100-300 m, old galleries have been preserved together with mining tools of wood and bronze, torches, remains of fabrics, etc. In the nearby burial ground, approximately 1,000 graves were found with a host of items attributed to the period from 700 and 400 A.D., in archaeology known as the Hallstatt period. The remains of prehistoric salt mines were also found near Salzburg, on the Ibe-



II./Fig. 14. Kopalnia Boulby / Boulby Mine
Źródło/Source: http://www.mineexplorer.co.uk/mines/Boulby_780/

4. Podziemne kopalnie soli

Na całej kuli ziemskiej czynne są bardzo liczne podziemne kopalnie soli, które działają w ramach wielkich korporacji przemysłowych, spółek handlowych, własności prywatnej, skarbu państwa itd. Wiele zakładów górniczych zakończyło wydobywanie soli i pełni inne funkcje: gospodarcze, lecznicze, społeczne, kulturalne, sportowe itp.

Przedstawienie w miarę pełnego inwentarza czynnych kopalń soli wykracza poza możliwości techniczne nawet największej monografii. Celem tego opracowania jest pokazanie najbardziej znanych i typowych przykładów podziemnych kopalń wydobywających sole.

Do najważniejszych zachowanych śladów przedhistorycznego górnictwa soli kamiennej należą podziemne roboty górnicze odkryte w połowie XIX wieku w miasteczku Hallstatt w Górnej Austrii. Na głębokości 100-300 m zachowały się tam stare chodniki, a w nich narzędzia górnicze z drewna i brązu, łuczywa, resztki tkanin itp. Na pobliskim cmentarzu znaleziono około 1000 grobów z licznymi przedmiotami przypisanymi do okresu między 700 a 400 lat p.n.e., nazwanego w archeologii „okresem halsztackim”. Resztki przedhistorycznych kopalń soli znaleziono również koło Salzburga, na Półwyspie Pirenejskim, na Ukrainie, w południowym Kaukazie, w Egipcie i w wielu innych miejscach na kuli ziemskiej.

Najwięcej danych o podziemnych kopalniach soli pochodzi z Europy. Eksploatacja podziemna w złożach soli odbywa się z zasady metodą suchą, przy użyciu maszyn górniczych i materiałów wybuchowych.

W Polsce jedynym podziemnym zakładem górniczym wydobywającym sól metodą suchą, jest znana Kopalnia Soli Kłodawa, a na terenie dolnośląskiego zagłębia miedziowego w ograniczonym zakresie sól kamienną eksploatują kopalnie Polkowice i Sieroszowice. Podziemna eksploatacja soli systemem mokrym (natryski i komory ługownicze) była przez wiele lat podstawą działalności górniczej podziemnej kopalni SOLNO w Inowrocławiu, ostatecznie zlikwidowanej po roku 1990.

Na mniejszą skalę taką eksploatację prowadzono w podziemnych wyrobiskach kopalń Wieliczka i Bochnia.

Na terenie Niemiec bardzo liczne kopalnie soli zbudowano w kilku wydzielonych okręgach górniczych. Wiele z nich to już kopalnie nieczynne (zli-



II./Fig. 15. Kopalnia Winsford / Winsford Mine
Źródło/Source: <http://www.winsfordrocksaltmine.co.uk/>

rian Peninsula, in Ukraine, in the southern Caucasus, in Egypt, and in many other places of our globe.

The most data on underground salt mines come from Europe. The underground exploitation in salt deposits, is performed as a rule with the application of the dry method, with the use of mining equipment and explosives.

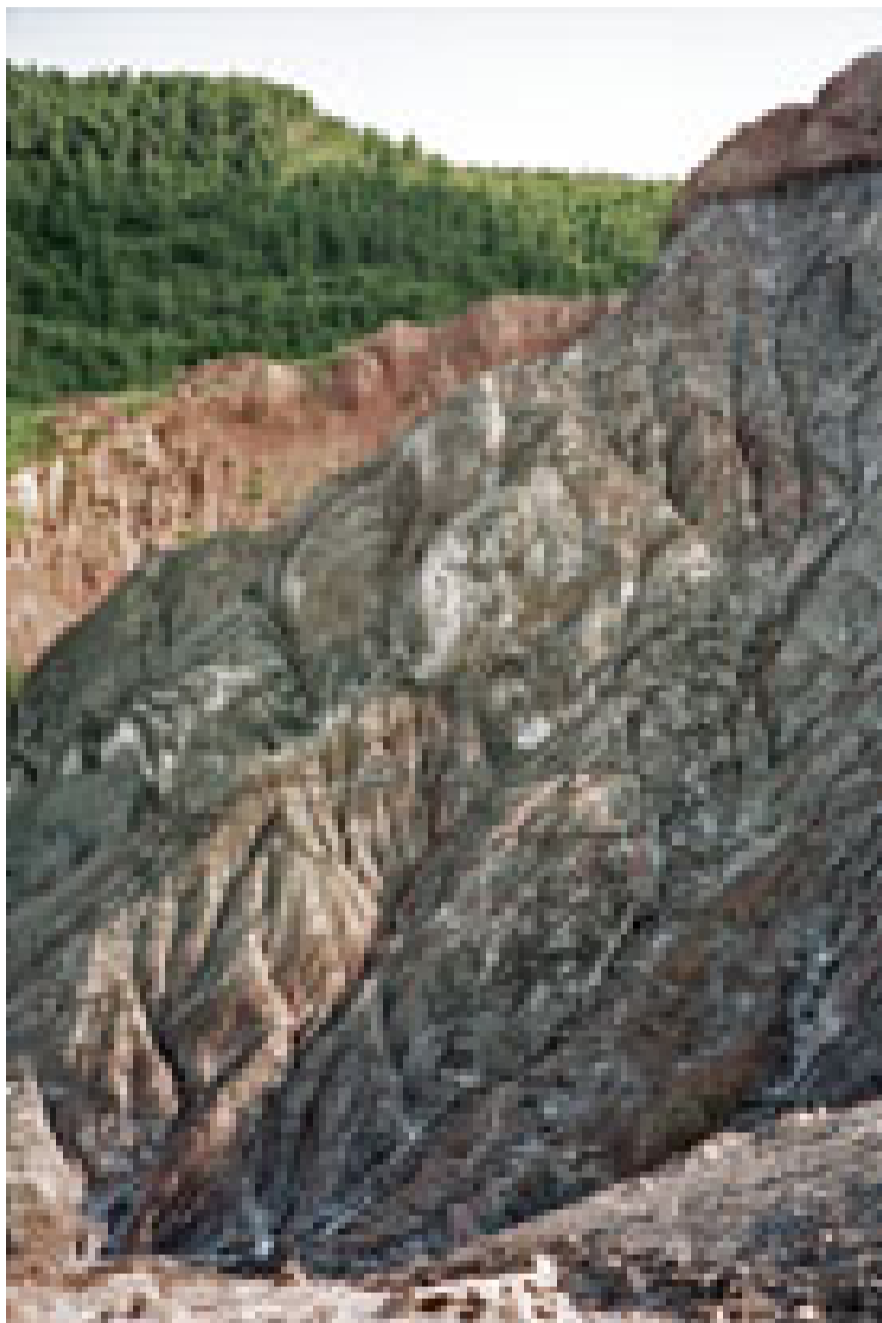
In Poland, the well-known Kopalnia Soli Kłodawa is the only underground salt mine plant extracting salt using the dry method whereas in the Lower Silesian copper basin, the Polkowice and Sieroszowice mines extract salt to a limited degree. For many years, the wet system underground salt extraction (showers and leaching chambers) constituted the basic area of mining operations of the SOLNO underground mine in Inowrocław, finally closed down after 1990.

To a smaller degree, such exploitation was conducted in the underground workings of the mines in Wieliczka and Bochnia.

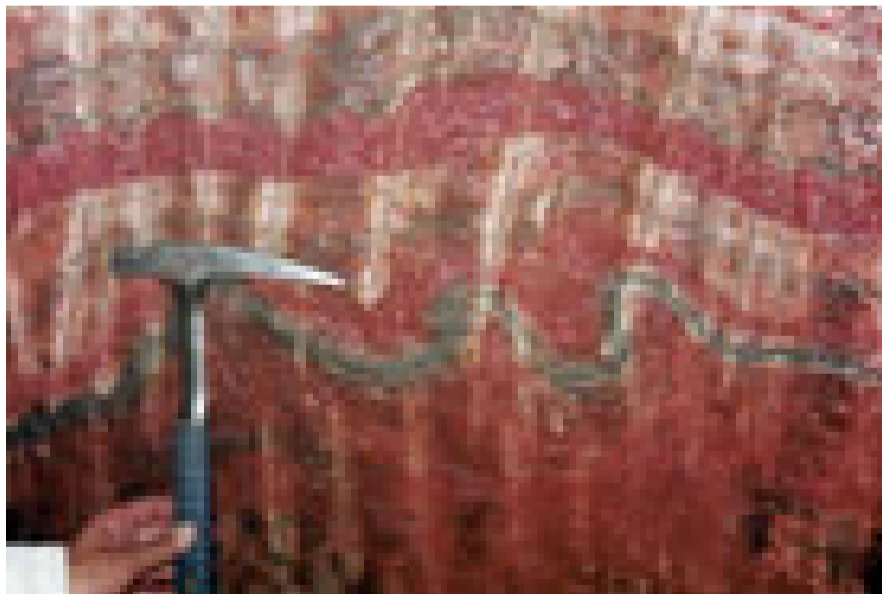
On the territory of Germany, numerous salt mines were built in several mining regions. Many of those are already inactive (closed down or flooded). Active mines operate in the region of Magdeburg, Mansfeld, Harz, Hannover, Hessen-Thüringen, and the Lower Rhine.

In the immediate vicinity of Hannover, K salts have been extracted for years in the Benthe-Ronnenberg diapir. The profile of this deposit constitutes a text-book example of formation and tectonic disturbances in the German Zechstein formations. The large Niedersachsen-Riedel mine extracts rock salt and K-Mg salts in the town of Wathlingen to the north-east of Hannover.

A radioactive waste storage was set up in the non-active Asse salt mine North of the Harz Mountains. A storage facility of this type was also built from scratch in a previously non-exploited Gorleben salt diapir. These two mines serve as a storage facility for radioactive waste from all German nucle-



Il./Fig. 16a. Kopalnia Cardona – powierzchniowe odsłonięcia soli / Cardona mine – surface salt outcrops
Fot./Photo by Aleksander Garlicki



Il./Fig. 16b. Sole potasowe na ścianie chodnika w kopalni Balsareny / Potash on the gallery face in the Balsareny mine
Fot./Photo by Aleksander Garlicki

kwidowane lub zatopione). Kopalnie czynne działają w okręgach: Magdeburga, Mansfeldu, Harcu, Hanoweru, hesko-turyńskim i dolnorońskim.

W najbliższej okolicy Hanoweru od lat sole potasowe były eksploatowane w wysadzie Benthe-Ronnenberg. Przekrój przez to złożę jest podęcznikowym przykładem sposobu wykształcenia i tektonicznych zaburzeń w utworach niemieckiego cechsztynu. Na północny wschód od Hanoweru, w miejscowości Wathlingen czynna jest duża kopalnia Niedersachsen-Riedel, w której wydobywa się sól kamienną i sole potasowo-magnezowe.

Na północ od Gór Harcu w nieczynnej kopalni soli Asse założono składowisko odpadów radioaktywnych. Tego rodzaju składowisko zbudowano także od nowa, w nieeksploatowanym wcześniej wysadzie solnym Gorleben. Te dwie kopalnie służą przechowywaniu odpadów radioaktywnych z wszystkich niemieckich elektrowni atomowych. Dla spełnienia warunków bezpieczeństwa, odpady są przewożone transportem kolejowym w specjalnie do tego celu przystosowanych wagonach.

Około 50 km na północ od Stuttgartu zespół kopalń Heilbronn-Kochendorf oprócz eksploatacji soli prowadzi również podziemne składowanie odpadów przemysłowych (niebędących radioaktywnymi). Odpady są nasypywane do pojemników w kształcie worków (dla których przyjęto międzynarodową nazwę BIG BAGS) i układane obok siebie w opuszczonych komorach podziemnych. Przestrzeń między tymi pojemnikami jest wypełniona sytkim materiałem (zanieczyszczone sole, ily, gips itp.). Ten sposób składowania jest równocześnie szczelnym podsadzeniem pustych wyrobisk, co wpływa korzystnie na stabilność górotworu i nie powoduje szkód na powierzchni.

W Wielkiej Brytanii w okolicy Whitby (Yorkshire) podziemna kopalnia w Boulby została zbudowana w latach 1969-1973 dla eksploatacji soli cechsztyńskich. Szyby są zlokalizowane na lądzie stałym, a dużą część chodników podziemnych poprowadzono pod dnem Morza Północnego. Kopalnia należy do bardzo głębokich, bowiem jej wyrobiska sięgają do około 1500 m poniżej poziomu terenu. Boulby jest głównym producentem soli potasowo-magnezowych i zaspokaja ponad 55% zapotrzebowania krajowego Wielkiej Brytanii. Wśród soli potasowo-magnezowych wyróżnia się 3 grupy ewaporatów złożonych z polihalitu, sylwinitu i skał karnalitowych. Największą wartość przemysłową przedstawiają dwa pokłady sylwinitu udokumentowane w środkowej i górnej grupie ewaporatów.

Triasowe sole kamienne eksploatuje się w kopalni Winsford (hrabstwo Cheshire). Warstwy solonośne są ułożone poziomo na głębokości od 130 do 220 m poniżej powierzchni. Wyróżnia się wśród nich dwa pokłady, każdy o miąższości około 25 m. Pokłady te są przedmiotem eksploatacji, a lokalnie są zaliczone do stref nazwanych „B” i „F”. Najczystsze sole występują w spągowych częściach pokładów. W kopalni Winsford przeważa zabarwienie soli różowe z odcieniem brunatnym. Plastyczne właściwości soli powodują wewnętrzne zaburzenia w obrębie warstw. W złożu rozpoznano także dwie strefy uskokowe, które ograniczają zasięg eksploatacji.

Złoża soli potasowo-magnezowych i soli kamiennych we Francji utworzyły się w oligocenie w trzech oddzielonych basenach: Mulhouse, Munchausen i Buggingen. Osady oligocenu występują na głębokości od 200 do 1000 m, a w ich dolnej części rozpoznano dwie strefy bitumiczne z solami potasowo-magnezowymi. Górny pokład tworzy sylwinit o miąższości 1-2 m, a dolny pokład miąższości 2-4 m jest zbudowany z sylwinitu o zawartości do 20% K_2O . Ten ostatni jest obiektem eksploatacji, która prawie w całości jest zmechanizowana i oparta na systemie filarowo-komorowym. Przez wiele lat było tam sześć czynnych kopalni soli, których szyby sięgały

ar power stations. To comply with safety conditions, the waste is transported by rail in special carriages.

Approximately 50 km north of Stuttgart, the Heilbronn-Kochendorf mining complex operates an underground industrial waste (non-radioactive) storage facility. The waste is transferred into sack-shaped containers (BIG BAGS is the established international name of these bags) which are arranged next to one another in abandoned underground chambers. The space between these containers is filled with loose material (contaminated salts, claystone, gypsum, etc.). This storage method at the same time constitutes tight backfilling of empty workings and thus has a positive impact on rock mass stability and causes no damages on the surface.

In Great Britain, the underground mine in Boulby was built in the area of Whitby (Yorkshire) in the years 1969-1973 for the purpose of extracting Zechstein salts. The shafts are located on the mainland while a substantial part of the underground galleries were carried out under the bed of the North Sea. The mine falls within the category of very deep as its workings reach down to 1,500 m below ground level. Boulby is the main producer of K-Mg salts and it meets 55% of the Great Britain's domestic demand. Among the K-Mg salts, it is possible to distinguish 3 groups of evaporites consisting of polyhalite, sylvinite, and carnallite rocks. Two sylvinite beds, documented in the middle and top evaporite groups, are of the greatest industrial value.

Triassic rock salts are extracted in the Winsford mine (Cheshire). The salt-bearing layers are arranged horizontally at the depth ranging from 130 to 220 m below ground level. Two seams, each with thickness of c. 25 m, can be distinguished. These seams are the subject of extraction operations and they are locally classified within the zones called "B" and "F". The purest salts are found in the floor parts of the seams. Pink salts with a russet hue dominate in the Winsford Mine. The plastic properties of salt cause internal disturbances within the layers. Two fault zones rendering the range of exploitation were also identified within the deposit.

K-Mg and rock salt deposits in France formed during the Oligocene era in three separate basins: Mulhouse, Munchausen, and Buggingen. The Oligocene sediments occur 200 to 1,000 m deep below ground level and two bituminous zones with K-Mg salts were identified in their lower part. The upper seam consists of sylvinite with the thickness of 1-2 m while the lower seam 2-4 m thick is composed of sylvinite with the K_2O content of up to 20%. The latter is subject to almost fully-mechanised extraction operations based on the pillar-chamber system. Six salt mines operated there over the period of many years, with the shafts reaching 1,050 m. Extraction is rendered more difficult by a gas risk resulting from the high bitumen content of the rocks. The extracted mineral material is delivered to several processing plant, the end products of which are KCl, rock salt, and bromine.

In Spain, one can count almost as many as 80 sites where mining operations in salt mines were conducted and concluded. Presently, only approximately 20 mines are active. The Cardona mine features among those best-known. Its area is characteristic for the vast variegated rock salt and K-Mg salts outcrops forming Mountain of Red Salt with the altitude up to 80 m occupying the area with the diameter of c. 4 km.

The Balsareny Mine is located in the Llobregat River valley, near Barcelona, which, similarly to the mining plants in Cardona, conducts the exploitation of mainly carnallite rock and sylvinite deposits. The mine's shafts descend to 500 m while the KCl content in the extracted rock reaches 30%.



II./Fig. 17a. Kopalnia Realmonte – wjazd do kopalni / Realmonte Mine – entrance to the mine
Fot./Photo by Aleksander Garlicki



II./Fig. 17b. Kopalnia Realmonte – sole potasowo-magnezowe na ścianie chodnika / Realmonte Mine – K-Mg salts on a gallery face
Fot./Photo by Aleksander Garlicki



Il./Fig. 18. Ściana podziemnego chodnika w kopalni Bierezniki / Underground gallery face, Bierezniki Mine
Fot./Photo by M. Pulina

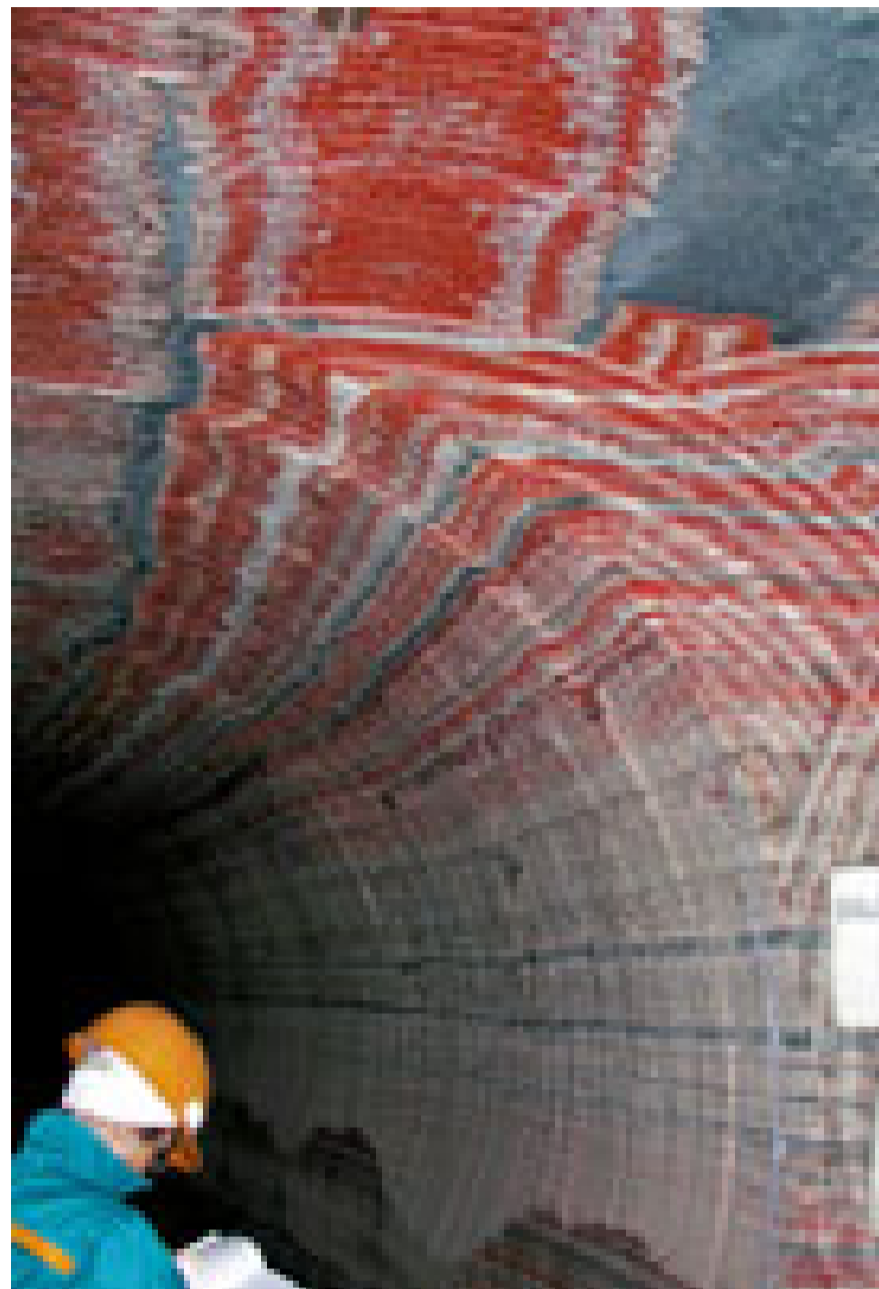
do 1050 m. Eksploatację utrudnia zagrożenie gazowe, spowodowane silną bitumicznością skał. Wydobyta kopalina jest dostarczana do kilku zakładów przeróbczych, których głównymi produktami końcowymi są: KCl, sól kamienna i brom.

W Hiszpanii można doliczyć się około 80 miejsc, w których prowadzono i zaprzestano działalności górniczej w podziemnych kopalniach soli. Obecnie czynnych kopalń soli jest zaledwie około 20. Do najbardziej znanych należy kopalnia Cardona, w okolicy której znajdują się rozległe wielobarwne wychodnie soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych, tworzące „Górę Czerwonej Soli” o wysokości do 80 m na obszarze o średnicy około 4 km.

W dolinie rzeki Llobregat, blisko Barcelony, zlokalizowana jest kopalnia Balsareny, która podobnie jak zakłady górnicze w Cardonie eksploatuje głównie pokłady skał karnalitowych i sylwinitu. Szyby kopalni sięgają do głębokości 500 m, a w wydobytym urobku zawartość KCl dochodzi do 30%.

Na uwagę zasługują zafałdowania cienkich przerostów ilasto-anhydrytowych w masie karnalitu, obserwowane powszechnie w kopalni Balsareny.

Inne kopalnie soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych, to: Sallent, Suria, Naval, Galar.



Il./Fig. 19. Sole potasowo-magnezowe w kopalni Soligorsk / K-Mg salts, Soligorsk Mine
Fot./Photo by G. Czapowski

Folds of thin claystone-anhydrite interlayers in the carnallite mass, commonly found in the Balsareny mine, command particular attention.

Other rock and K-Mg salts mines include: Sallent, Suria, Naval, Galar.

In Italy on Sicily, apart from rock salt, K-Mg salts, composed mainly of kainite while to a lesser degree of carnallite rocks and sylwinitu, are extracted. K-Mg salts incidence depth reaches 900 m whereas the thickness of individual seams reaches 20 m. The mines built in San Cataldo, Palo, Santa Caterina, Piolo, Pasquasia, and Corvillo are accessed via shafts while the spoil is delivered to processing plants where the K_2O content of the enriched end product is 50%. Another method for accessing the deposit is used in the Realmonte mine where the deposit's interior is reached via a wide sloping tunnel. The tunnel and subsequent hairpin bends leading downwards lead to the mine's deepest part. Conveyor belts transport the spoil to the surface.

Kainite salts are the main subject of extraction in the mine. On gallery faces, one may observe the scale of disturbances in kainite salts as well as contrastingly different behaviour of more and less plastic salts.

In Russia, the main salt mining centres are located in the Upper Kama River Basin in the area of the towns of Solikamsk and Bierezniki with eight



Il./Fig. 20a. Sole potasowo-magnezowe w chodniku kopalni Stebnik / K-Mg salts in the gallery of the Stebnik mine
Fot./Photo by Aleksander Garlicki

We Włoszech na Sycylii oprócz soli kamiennej eksploatuje się sole potasowo-magnezowe, złożone głównie z kainitu, w mniejszym stopniu ze skał karnalitowych i sylwinitów. Głębokość występowania soli potasowo-magnezowych dochodzi do 900 m, a poszczególne pokłady osiągają miąższość do 20 m. Kopalnie zbudowane w miejscowościach: San Cataldo, Palo, Santa Caterina, Piolo, Pasquasia i Corvillo są udostępnione szymbami, a urobek jest dostarczany do zakładów przerobczych, w których wzbogacony produkt końcowy zawiera ponad 50% K_2O . Inny sposób udostępnienia złoża zastosowano w kopalni Realmonite, gdzie do wnętrza złoża prowadzi szeroki ukośny tunel. Tym tunelem i kolejnymi coraz głębiej położonymi serpentynami zjeżdża się samochodami do najgłębszej części kopalni. W odwrotnym kierunku taśmociągi wynoszą urobek na powierzchnię.

W kopalni eksploatowane są głównie sole kainitowe. Na ścianach chodników kopalnianych można obserwować skałę zaburzeń w solach kainitowych, a także kontrastowo różne zachowanie się soli bardziej i mniej plastycznych.

Na terenie Rosji w dorzeczu Górnej Kamy, główne ośrodki górnictwa solnego to okolice miast Solikamsk i Biezniki, gdzie znajduje się 8 kopalń. Spośród wielu warstw soli potasowo-magnezowych, wartość przemysłową wykazują tylko dwie i one są przedmiotem eksploatacji. Przy ogólnie łagodnym ułożeniu spągu warstw w basenie, sole potasowo-magnezowe tworzące część przystropową złoża wykazują liczne zaburzenia, przejawiające się w obecności elewacji i kopuł, na przemian z formami synklinalnymi. Eksploatacja jest prowadzona w taki sposób, że pod ziemią pozostaje dość regularna sieć wyrobisk górniczych. Od roku 1977 na głębokości 280 m utworzono podziemne sanatorium, przeznaczone szczególnie dla leczenia chorób płucnych. W roku 1986 w Bieznikach nastąpił katastrofalny dopływ solanki i wód gruntowych do wyrobisk podziemnych, a następnie miało miejsce zawalenie się stropu i powstanie wielkiego zapadliska wypełnionego wodą i solanką. W otoczeniu powstałego zapadliska i na hałdach kopalnianych rozwijają się intensywne procesy krasowe.

Złoża na Białorusi odkryto już w roku 1941, ale był to okres wojny i dopiero po roku 1949 rozpoczęto budowę pierwszej kopalni udostępnionej trzema szymbami. Zbudowano tam kilka kombinatów górniczych o wspólnej nazwie SOLIGORSK, obejmujących kopalnie i zakłady przerobcze. Największą wartość przemysłową przedstawiają pokłady sylwinitu osiągające



Il./Fig. 20b. Zaburzenia w siarczanowych solach, kopalnia Stebnik / Disturbances in the sulphate salts, Stebnik mine
Fot./Photo by Aleksander Garlicki

mines. From among a number of K-Mg salt layers, only two are of commercial value and they are exploited. With a generally slight slope of the bottom layers in the basin, K-Mg salts forming the uppermost part of the deposit display multiple disturbances manifested in the presence of elevations and domal structures alternating with synclinal forms. Extraction operations are conducted in a manner which leaves a relatively regular network of mining workings. In 1977, an underground sanatorium was established 280 m below ground level, intended to treat mainly pulmonary diseases. In 1986, Biezniki experienced a catastrophic inflow of brine and table waters into the underground workings, then the roof collapsed and a huge water-and-brine filled subsidence basin formed. The vicinity of the subsidence basin formed and waste dumps are an area of rapid development of karst processes.

Deposits in Belarus were discovered already in 1941, however, it was the time of war and the construction of the first mine accessed by three shafts commenced only after 1949. Several mining complexes bearing the common name of SOLIGORSK were built to include the mine and processing plants. Sylvinit deposits with a thickness reaching 14 m are of the great-



Il./Fig. 21. Kopalnia Tirgu Ocna / Fig. 22 AG Tirgu Ocna mine
Fot./Photo by K. Bukowski

miąższość do 14 m. Eksploatuje się także cieńsze warstwy sylwinitu, które zawierają przerosty karnalitu i soli kamiennej. W profilu złoża wyróżnia się cztery główne pokłady soli potasowych przedzielone grubymi kompleksami soli kamiennej. W najbogatszych pokładach soli potasowych zawartość KCl dochodzi do 25%. Mechaniczne urabianie nowoczesnymi kombajnami daje bardzo wyraziste efekty kolorystyczne na ścianach chodników, a ponadto ściany te są bardzo regularne i mają równe powierzchnie.

Na Ukrainie, która była kolebką górnictwa soli potasowych, miocenne sole od wielu lat były wydobywane w kopalniach Kałusz, Stebnik i Hołyń. Złoża soli potasowo-magnezowych odkryto tam już w roku 1864, ale eksploatacja rozpoczęła się znacznie później. W latach 1921-1939 wydobywano tam sylwinit, langbeinit i kainit, stosując komorowy system eksploatacji. Łączna produkcja wszystkich trzech kopalń nie przekraczała 570 tys. ton rocznie. Po II wojnie światowej produkcja tych kopalń straciła na znaczeniu, a prace górnicze i wydobywanie prowadzi się w ograniczonym zakresie tylko w kopalni Stebnik. W wyrobiskach podziemnych tej kopalni można jednak obserwować dobrze zachowane odsłonięcia polihality, soli twardych jak również kainitów.

Rumunia jest także jednym z najstarszych ośrodków podziemnego górnictwa solnego w Europie. Do od dawna eksploatowanych, a nawet już zabytkowych kopalń soli należą: Slanic Prahova, Salina Praid, Salina Dej, Cacica, Tirgu Ocna.

W Rumunii, podobnie jak w Polsce, dużą wagę przywiązuje się do historii i tradycji górnictwa solnego. W wielu kopalniach zorganizowano trasy turystyczne, specjalne wystawy, a przede wszystkim przejawiana jest troska o utrzymanie i odpowiednie wyeksponowanie zabytkowych komór, chodników, narzędzi, dokumentów itp. Prawie 200 lat temu kopalnia założona na Bukowinie w małej miejscowości Cacica (polska nazwa Kaczyka) przez wiele lat była prowadzona przez specjalnie sprowadzonych z Bochni i Wieliczki wysoko kwalifikowanych polskich górników. Do dziś dnia zachowała się tam ludność używająca języka polskiego.

Na największą skalę górnictwo podziemne soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych rozwinęło się w Ameryce Północnej: w USA i Kanadzie.

W Stanach Zjednoczonych największe znaczenie mają podziemne kopalnie eksploatujące sylurskie sole formacji Salina na obszarze Wielkich Jezior



Il./Fig. 22. Kopalnia Detroit Salt Company / Detroit Salt Company Mine
Źródło/Source: <http://apps.detnews.com/apps/history>

est industrial value. Also thinner sylvinite layers, which contain carnallite and rock salt interlayers, are exploited. Four main K salts seams, separated with thick rock salt concentrations, are discerned within the deposit profile. KCl content in the richest K salt seams reaches 25%. Mechanical extraction with the use of modern roadheaders produces very distinct colour effects on the faces of the galleries and, what is more, the walls are very regular with even surfaces.

In Ukraine, the cradle of potassium salt mining, for many years Miocene salts have been extracted in the mines of Kalush, Stebnik, and Holyn. K-Mg salts deposits were discovered there as early as in 1864, however, the extraction commenced a lot later. In the years 1921-1939, sylvinite, langbeinit, and kainite were extracted with the use of the chamber system of exploitation. The total production of all three mines did not exceed 570,000 tonnes per year. After World War II, the production of these mines lost its importance and the mining and extraction operations are conducted in a limited degree in the Stebnik mine only. This mine's underground workings afford the opportunity to watch well-preserved outcrops of polyhalite, hard salts, and kainite.

Romania is also one of the oldest underground salt mining centres in Europe. Mines exploited for a long time, and in certain cases – already of historical status, include Slanic Prahova, Salina Praid, Salina Dej, Cacica, and Tirgu Ocna.

In Romania, similarly as in Poland, a lot of importance is attached to the history and traditions of salt mining. Many mines have organised tourist routes, special exhibitions, and, what is most important, their care to maintain and appropriately display historic chambers, galleries, tools, documents, etc. is well visible. Almost 200 years ago, a mine established in Bukovina in a small place called Cacica (Polish name: Kaczyka) was run by highly qualified Polish miners brought for this purpose from Bochnia and Wieliczka for many years. The Polish-speaking population has been preserved in this region until today.

Underground rock salt mining has developed on the greatest scale in North America – in the US and Canada.

In the US, the underground mines extracting Silurian salts of the Salina formation in the Great Lakes area and the Upper Permian saline sedi-



Il./Fig. 23. Kopalnia Windsor Salt Mine w Pugwash / Windsor Salt Mine, Pugwash
Fot./Photo by Aleksander Garlicki

oraz górnoperskie osady solne eksploatowane podziemnie na pograniczu Nowego Meksyku i Teksasu.

Sole formacji Salina odkryto na obszarze Detroit już w roku 1895 i wkrótce potem rozpoczęto zgłębiać pierwszy szyb do głębokości około 400 m, który ukończono w roku 1910. Dalsze pogłębianie szybu doprowadziło do udostępnienia bardzo czystych pokładów soli kamiennej. W roku 1922 zgłębiono drugi szyb, który pozwolił na znaczne zwiększenie wydobywania. Po długim okresie pracy kopalnię zamknięto w roku 1983, ale już w roku 1998 wznowiono produkcję, która jest nastawiona głównie na masowe dostarczanie soli drogowej.

Na dużym obszarze basenu Delaware występują głównie złoża soli potasowych. Ich eksploatacja podziemnymi robotami górniczymi odbywa się na terenie położonym na wschód od miasta Carlsbad (Nowy Meksyk) na obszarze około 80 km².

Rozpoznano tam szereg pokładów soli kamiennej i soli potasowych. Spośród różnych rodzajów soli potasowych, najważniejsze są strefy sylwinitowite dochodzące do około 20 m miąższości i średniej zawartości K₂O ponad 25%. Strefy te są podstawowym przedmiotem eksploatacji na głębokości od około 300-550 m. Pierwszą kopalnię podziemną firmy US Boran założono w roku 1931. W następnych latach kolejne firmy otwierały swoje kopalnie: Potash Company of America (1935 r.), International Minerals and Chemical Corporation (1940 r.), Duval Corporation, Southwest Potash Corporation (1952). Najmłodsze kopalnie założyła Kermac Potash Corporation w latach 1961-1965.

Mniejsze znaczenie ma obecnie zanikające górnictwo solne w karbońskim basenie Paradox, położonym w Górach Skalistych. W okolicy Moab (stan Utah) górnictwo soli potasowych rozwinęło się po roku 1965. Kopalnia Cane Creek zajmuje obszar górniczy o powierzchni około 6000 ha. Eksploatuje się tam głównie 5-metrowy pokład skał sylwinitowych o zawartości 25-30% K₂O, na głębokości około 900 m, udostępniony z powierzchni szybami.

Na południowym wybrzeżu stanu Luizjana, około 50 km na południe od miasta Lafayette rozciąga się wydłużona strefa 5 wysadów solnych (Jefferson Island, Avery Island, Weeks Island, Cote Blanche i Belle Isle). Środkowy z tych wysadów Weeks Island ma średnicę około 4 km, w przekroju kształt



Il./Fig. 24. Kopalnia Rocanville / Rocanville Mine
Fot./Photo by Troy Fleece/The Canadian Press

ments extracted underground on the New Mexico and Texas border are of the greatest significance.

The Salina formation salts were discovered in the Detroit area already in 1895 and soon after the construction of the first shaft, c. 400 m deep, commenced. It was completed in 1910. The shaft being bored even deeper resulted in gaining access to very pure seams of rock salt. In 1922, the second shaft was bored, which allowed the extraction to be substantially increased. After a long period of operation, the mine closed down in 1983, but the production was launched again with the purpose of the mass production of road salt already in 1998.

Deposits of mainly potassium salts have been identified on a big part of the Delaware basin. They are extracted by means of underground mining works in the area of c. 80 km² located east of the town of Carlsbad (New Mexico).

A number of rock and potassium salt deposits have been identified there. From amongst the variety of potassium salt types, sylvinite zones with the thickness of 20 m and average K₂O content of 25% feature as the most important ones. These zones are the basic subject of exploitation at the depth of c. 300-550 m. The first underground mine run by US Boran was set up in 1931. Subsequent years saw other companies opening their mines: the Potash Company of America (1935), International Minerals and Chemical Corporation (1940), Duval Corporation, Southwest Potash Corporation (1952). The youngest mines were established in the years 1961-1965 by the Kermac Potash Corporation.

The presently atrophying salt mining in the Paradox Carboniferous basin, located in the Rocky Mountains, is of lesser significance. After 1965, Potassium salt mining developed in the area of Moab (Utah). The Cane Creek mine takes up a mining area of c. 6,000 ha. The 5 m sylvinite rock seam with the K₂O content ranging between 25-30% extracted from the depth of c. 900 m and accessed via shafts from the surface is the main subject of exploitation.

An elongated zone of 5 salt diapirs (Jefferson Island, Avery Island, Weeks Island, Cote Blanche, and Belle Isle) stretches along the southern coast of Louisiana, approximately 50 km south of Lafayette. The central point of these diapirs, Weeks Island, is c. 4 km in diameter, close to round in the cross-section while the shallowest salt incidence occurs c. 38 m below ground

zbliżony do okrągłego, a najpłycej sól występuje na głębokości około 38 m poniżej powierzchni terenu. Na wysadzie Weeks Island firma Morton Salt zbudowała kopalnię soli, która jest czynna w NW części wysadu, a część SE jest wykorzystana jako podziemny magazyn ropy naftowej.

W Kanadzie od dawna eksploatuje się karbońskie sole kamienne w kopalni Windsor Salt Mine w miejscowości Pugwash na terenie prowincji Nowa Szkocja. Kopalnia jest usytuowana nad Oceanem Atlantyckim, co poważnie ułatwia transport morski w eksporcie soli.

Największe na świecie złoża soli kamiennej i soli potasowo-magnezowych, odkryte w kanadyjskim basenie Elk Point po roku 1943, wydobywa się w kopalniach podziemnych w okolicy miejscowości: Saskatoon, Esterhazy, Viscount, Allan, Lanigan. Sole dewońskiej formacji Prairie eksploatuje się tam na sucho na głębokości około 945–1060 m, stosując metodę komorowo-filarową z użyciem nowoczesnych górniczych maszyn urabiających do ciągłego skrawania skał.

Głównym przedmiotem eksploatacji są skały sylwinitowe o wysokiej zawartości KCl przekraczającej 37% (tj. około 24% w przeliczeniu na K_2O). Liczne czynne zakłady górnicze należą m.in. do: Duval Corporation of Canada, Cominco Ltd., International Minerals. Są to względnie młode kopalnie, które rozpoczęły produkcję w latach 1962–1971.

SPIS LITERATURY I WYKORZYSTANYCH MATERIAŁÓW

- W. Andrejczuk, P. Mulina, J. Rózkowski 1998, *Kras antropogeniczny rejonu Solikamska (Rosja)*. Materiały z IV Spotkania PSGS nt.: „Naturalne zagrożenia w kopalniach soli”, wyd. własne PSGS, Kraków, s. 95–104.
- H. Borchert, R.O. Muir 1964, *Salt Deposits, the Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporates*, Van Nostrand, Co.Ltd, New York–London, s. 338.
- G. Bufalino 1988, *Saline di Sicilia*, Sellerio editore, Palermo, s. 203.
- A. Garlicki 1960, *Budowa geologiczna przedmezozoicznej powierzchni obniżenia prypeckiego*, „Geologia za granicą”, nr 3–4, s.10–16.
- A. Jodłowski (red.) 2011, *Barwy soli Europy – Colours of Salt in Europe*, wyd. MŻK, Wieliczka, s. 144.
- P.B. King, G.J. Edmonston 1972, *Generalized Tectonic Map of North America*, USGS, Washington.
- F. Lotze 1957, *Steinsalz und Kalisalz*, Borntraeger Gebr, Berlin.
- M.T. Kozary 1968, *Incidence of Saline Deposits in Geologic Time*, “GSA”. Special Paper No 88, New York, s. 43–57.
- W. Kutyrlo, J. Warnel, W. Trefilawa 2008, *Geneza zaburzeń budowy geologicznej w horyzontach przemysłowych starobińskiego złoża soli potasowych (Białoruś)*, „Przegląd Solny”. Gospodarka surowcami mineralnymi, wyd. Sigmie, PAN, t. 24, z. 3/2, s. 289–298.
- K. Maślankiewicz 1965, *Z dziejów górnictwa solnego w Polsce*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, s. 283.
- K. Poborska-Młynarska 2010, W. Andrusikiewicz, *Eksploatacja soli potasowych w Małopolsce wschodniej w czasach II Rzeczypospolitej – przyczynek do górnictwa solnego na Podkarpaciu*. *Geologia 2010*, „Przegląd Solny”, Kwart. AGH, t. 36, z. 3, s. 273–285.
- G. Richter-Bernburg 1955, *Über salinare Sedimentation*.
- Z. Werner 1977, *Rozmieszczenie złóż soli potasowych na świecie*, w: *Surowce Mineralne Świata $K_2O-Br-J-N$* , A. Bolewski (ed.), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa, s. 15–61.
- level. The Morton Salt company built a salt mine on the Weeks Island diapir, which is active in the diapir's north-western part while the south-eastern part is used as an underground crude oil storage.
- In Canada, Carboniferous rock salts have been exploited for a long time in the Windsor Salt Mine located in Pugwash, Nova Scotia. The mine is located close to the shore of the Atlantic Ocean which makes the marine transport of exported salt substantially easier.
- The world's largest deposits of rock and K-Mg salts, discovered in the Canadian Elk Point basin after 1943, are extracted in underground mines in the area of such towns as Saskatoon, Esterhazy, Viscount, Allan, and Lanigan. Devonian Prairie formation salts are extracted using the dry chamber-and-pillar method from the depth of approximately 945–1060 m with the application of modern mining machinery for the continuous rock mining.
- The main exploited material is sylvinite rocks with a high KCl content exceeding 37% (i.e. approximately 24% when converted into K_2O). Multiple active mining plants belong to, amongst others: the Duval Corporation of Canada, Cominco Ltd., International Minerals. They are relatively young mines launched into operation in the years 1962–1971.

BIBLIOGRAPHY AND USED MATERIALS INVENTORY

- W. Andrejczuk, P. Mulina, J. Rózkowski, *Kras antropogeniczny rejonu Solikamska (Rosja)*. Materials from IV PSGS Meeting: “Naturalne zagrożenia w kopalniach soli”, own edition of PSGS, Kraków 1998, pp. 95–104.
- H. Borchert, R.O. Muir, *Salt Deposits, the Origin, Metamorphism and Deformation of Evaporates*, Van Nostrand, Co.Ltd, New York–London 1964, p. 338.
- G. Bufalino, *Saline di Sicilia*, Sellerio editore, Palermo 1988, p. 203.
- A. Garlicki, *Budowa geologiczna przedmezozoicznej powierzchni obniżenia prypeckiego*, „Geologia za granicą”, 1960, no. 3–4, pp.10–16.
- A. Jodłowski (ed.), *Barwy soli Europy – Colours of Salt in Europe*, published by MŻK, Wieliczka 2011, p. 144.
- P.B. King, G.J. Edmonston, *Generalized Tectonic Map of North America*, USGS, Washington 1972.
- F. Lotze, *Steinsalz und Kalisalz*, Borntraeger Gebr, Berlin 1957.
- M.T. Kozary, *Incidence of Saline Deposits in Geologic Time*, “GSA”. Special Paper No 88, New York 1968, p. 43–57.
- W. Kutyrlo, J. Warnel, W. Trefilawa, *Geneza zaburzeń budowy geologicznej w horyzontach przemysłowych starobińskiego złoża soli potasowych (Białoruś)*, “Przegląd Solny”. Gospodarka surowcami mineralnymi, published by Sigmie, PAN, 2008, vol. 24, book 3/2, pp. 289–298.
- K. Maślankiewicz, *Z dziejów górnictwa solnego w Polsce*, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa 1965, p. 283.
- K. Poborska-Młynarska, W. Andrusikiewicz, *Eksploatacja soli potasowych w Małopolsce wschodniej w czasach II Rzeczypospolitej – przyczynek do górnictwa solnego na Podkarpaciu*. *Geologia 2010*, “Przegląd Solny”, AGH Quarterly, 2010, vol. 36, book 3, pp. 273–285.
- G. Richter-Bernburg, *Über salinare Sedimentation*, 1955.
- Z. Werner, *Rozmieszczenie złóż soli potasowych na świecie*, in: *Surowce Mineralne Świata $K_2O-Br-J-N$* , A. Bolewski (ed.), Wydawnictwa Geologiczne, Warszawa 1977, pp. 15–61.