



Współczesne techniki eksploatacji soli kamiennej w kopalniach podziemnych

Current techniques of rock salt mining in the underground mines

Dr inż. Katarzyna Poborska-Młynarska^{*)}

Treść: Wydobycie soli kamiennej w kopalniach podziemnych stanowi około 1/6 całkowitej produkcji soli na świecie. Największymi producentami są: USA, Kanada i Niemcy. Znaczące wydobycie mają m.in.: Wielka Brytania, Włochy i Rosja. W artykule przedstawiono współczesne techniki wydobycia soli kamiennej na przykładzie wybranych kopalń podziemnych tych krajów, koncentrując się na charakterystyce warunków geologiczno-górnictwowych, systemach eksploatacji i stosowanych rozwiązaniach technologicznych. W zakończeniu zostały sformułowane wnioski na temat tendencji w technologiach wydobycia soli, które mogą być przydatne przy rozwiązywaniu problemów górnictwa solnego w naszym kraju.

Abstract: Total output of rock salt from the underground mines is about 1/6 of the total world salt production. The countries with the largest rock salt production are: the United States, Canada and Germany. A significant output come also i. e. from: Great Britain, Italy and Russia (Tabl.1, 2.). In this paper, the current techniques of salt mining in selected mines in these countries have been presented. The analysis focuses on geology and mining conditions, techniques of exploitation and applied technologies (Tabl. 3). At the end, the conclusions on trends in salt mining technologies are drawn. They can be useful for salt mining industry in our country.

Słowa kluczowe:

górnictwo solne, kopalnie soli kamiennej, technika eksploatacji soli

Key words:

salt mining, rock salt mines, salt exploitation techniques

1. Wprowadzenie

Produkcja soli na świecie przekracza 260 mln ton rocznie. Sól otrzymywana jest z wody morskiej, z jezior słonych i ich osadów, z solanki, którą produkuje się na złożach solnych głównie metodą wiertniczą oraz w kopalniach podziemnych. Kraje o największej produkcji soli to: Chiny, USA, Niemcy, Indie, Kanada i Meksyk (Tab.1). Największa ilość soli produkowana jest z wody morskiej przez ewaporację. Z kopalń podziemnych otrzymuje się około 1/6 światowej produkcji, a największe wydobycie tą metodą ma miejsce w USA, Kanadzie, Niemczech, a ponadto w Pakistanie, Białorusi, Włoszech, Rosji, Wlk. Brytanii i w wielu innych krajach (tab. 2).

Podziemne górnictwo solne charakteryzuje się swoistą specyfiką, wynikającą przede wszystkim z wielkości i różnorodności form złożowych, z faktu rozpuszczalności kopaliny w wodzie oraz ze szczególnych właściwości mechanicznych soli kamiennej. Charakterystyczne dla kopalń soli są przede wszystkim:

- zazwyczaj duże wyrobiska eksploatacyjne oraz ich długotrwała stateczność, dzięki czemu nie stosuje się podsadzania ani innej, postępującej za eksploatacją formy likwidacji wyrobisk,
- wyjątkowo duże wymiary filarów bezpieczeństwa i filarów ochronnych,

^{*)} AGH w Krakowie

Tablica 1. Kraje o największej produkcji soli w 2014 r. [15]
Table 1. Countries with the largest salt production in 2014 [15]

Nr	Kraj	Wielkość produkcji, mln t	
		rok 2013	rok 2014 (dane szacunkowe)
1	Chiny	70,00	71,00
2	USA	40,30	44,10
3	Niemcy	11,90	12,00
4	Indie	16,00	17,00
5	Kanada	12,20	13,30
6	Australia	11,00	11,00
7	Meksyk	10,80	9,50
8	Chile	6,58	8,00
9	Wlk. Brytania	6,70	6,80
10	Ukraina	6,20	5,40
11	Brazylia	7,50	7,50
12	Francja	6,10	6,00
13	Turcja	5,30	5,40
14	Hiszpania	4,44	4,50
15	Polska	4,43	4,40
16	pozostałe kraje	42,20	43,40
17	Razem	262,00	269,00

- długowieczność kopalń, których wiek często przekracza 100 lat,
- wieloletni przyrost wyrobisk, co powoduje powstawanie pustek poeksploatacyjnych o potężnej objętości.

Tablica 2. Kraje o największej produkcji soli kamiennej (wydobywanej w kopalniach podziemnych) [14]**Table 2. Countries with the largest production of rock salt (exploited in the underground mines)**

Nr	Kraj	Szacowana wielkość produkcji soli kamiennej, mln t, rok 2012
1	USA	13,300
2	Kanada	10,845 produkcja całkowita soli
3	Niemcy	6,130
4	Ukraina	5,900 produkcja całkowita soli
5	Hiszpania	3,100*
6	Włochy	2,200 produkcja całkowita soli
7	Wlk.Brytania	6,700 produkcja całkowita soli
8	Pakistan	1,900*
9	Rosja	1,800 produkcja całkowita soli
10	Białoruś	1,700* produkcja całkowita soli
11	Brazylia	1,650*
12	Polska	0,782*

* Dane szacunkowe na rok 2012 [14]

Głównym systemem eksploatacji stosowanym w kopalniach soli był od wieków system komorowy – przede wszystkim system komór właściwych, w licznych odmianach, pozwalających dostosować technikę eksploatacji do formy złoża i lokalnego poziomu mechanizacji robót górniczych. Potem zaczęto stosować w górnictwie solnym również system komorowo-filarowy.

Długi czas funkcjonowania kopalń soli powoduje wiele problemów, np. zwiększenie wydobywania i modernizacja technik eksploatacji bywa utrudniona z powodu dawnej infrastruktury, pojawia się też problem bezpiecznego utrzymania lub likwidacji starych wyrobisk, których łączna objętość często osiąga kilkanaście – kilkadziesiąt milionów metrów sześciennych i in.

Ze względu na swoistą specyfikę, problemy górnictwa solnego są po części wspólne w różnych zagłębieniach solnych. Przegląd obecnie stosowanych technik eksploatacji i doświadczeń w kopalniach u ważniejszych producentów soli kamiennej na świecie może wskazać kierunki rozwoju i być inspiracją dla rozwiązywania problemów górnictwa solnego w kraju.

2. Przegląd sposobów eksploatacji w wybranych kopalniach soli kamiennej na świecie

Kopalnie założone są na złożach różniących się budową geologiczną - przede wszystkim: formą złoża, głębokością zalegania, zasobami i warunkami geologiczno-górnictwymi. Złoża są w różny sposób udostępnione, rozcięte i wybierane z zastosowaniem różnych systemów eksploatacji i technicznych rozwiązań. Wielkość wydobywania kształtowana jest zapotrzebowaniem na surowiec i warunkami ekonomicznymi, jak i wspomnianymi warunkami geologicznymi i technicznymi.

Dla scharakteryzowania współczesnych technik eksploatacji, spośród wielu podziemnych kopalń soli kamiennej na świecie, wybrano i przedstawiono w artykule kilka kopalń. Kluczem ich wyboru były następujące kryteria: wielkość produkcji, zróżnicowane położenie geograficzne, zróżnicowana budowa geologiczna złoża, technika eksploatacji, rozwiązania technologiczne, a także dostępność informacji.

2.1. Stany Zjednoczone

Największa ilość soli kamiennej na świecie wydobywana jest w kopalniach podziemnych Stanów Zjednoczonych.

Wydobycie pochodzi z kilkunastu kopalń eksploatujących sól w kilku stanach: New York, Michigan, Ohio, Kansas, Luizjana. Do kopalń o największym wydobywaniu należy m.in. Cote Blanche Salt Mine w Luizjanie.

2.1.1. Kopalnia Cote Blanche

Kopalnia Cote Blanche należy do kompanii Compass Minerals America Inc. Znajduje się w południowej Luizjanie i jest założona w jednym z kilku sąsiadujących ze sobą wysadów solnych na obszarze Five Islands na wybrzeżu Zatoki Meksykańskiej.

Wysad solny tworzą sole środkowej jury należące do ewaporatowej formacji Louann Salt. Strop wysadu zalega średnio na głębokości 90 m. Wysad na planie ma kształt eliptyczny: na głębokości przekraczającej 300 m długość osi o kierunku N-S sięga 2,1 km, a o kierunku W-E 1,7 km [11,3]. Wysad znacznie poszerza się ze wzrostem głębokości. Ściany boczne zapadają pionowo. Budowa wewnętrzna złoża jest złożona, z charakterystycznym dla wysadów pionowym lub bardzo stromym zapadaniem warstw. Sól kamienna zawiera ok. 95% NaCl. Głównym zanieczyszczeniem soli są piaski i piaskowce.

Kopalnię założono w 1961 roku. Obecnie posiada trzy poziomy na głębokościach: 335 m, 396 i 457 m. Sól kamienna eksploatowana jest w systemie komorowo-filarowym z kwadratowymi filarami: komory mają zwykle szerokość ok. 15 m, wysokość ok. 24 m i rozdzielone są filarami o szerokości ok. 30 m x 30 m [3]. Komory wybierane są dwuetapowo. W pierwszej kolejności wybierana jest warstwa górna na grubość około 7,5 m: w przodku stosuje się wrąb przy spągu i urabia sól techniką strzelniczą. W drugiej warstwie długie otwory strzałowe wiercone są ku dołowi. Urobek dostarczany jest do podziemnego zakładu przerobczego, a stamtąd skipem na powierzchnię do magazynów

Kopalnia jest metanowa, znana z licznych wyrzutów metanu i skał. Kopalnia produkuje głównie sól drogową. Wydobycie roczne sięga 3,5 mln ton soli, przy zatrudnieniu ponad 150 osób [13].

2.2. Kanada

Kanada jest jednym z największych producentów soli na świecie: zajmuje 5 miejsce w wielkości całkowitej produkcji soli, a drugie miejsce po USA w wydobywaniu soli kamiennej w kopalniach podziemnych. Sól kamienna wydobywana jest w kilku kopalniach położonych w prowincjach: Nova Scotia, Quebec, Ontario, Saskatchewan. Jest także wydobywana jako produkt uboczny w kopalniach soli potasowych. Największą kopalnią soli kamiennej w Kanadzie i na świecie jest kopalnia Goderich w prowincji Ontario, na brzegu jeziora Huron, należąca do kompanii Sifto Canada Incorporation [15].

2.2.1. Kopalnia Goderich

Złoże Goderich należy do górnosylurskiej grupy Salina (Salina Group) w basenie Michigan, występującej w Ameryce Północnej na terytorium USA w kilku stanach oraz Kanady (Ontario). W kopalni Goderich eksploatowany jest pokład soli o miąższości sięgającej 24 - 33 m zalegający niemal poziomo na głębokości około 550 m [5].

Budowę kopalni podziemnej rozpoczęto w 1957 roku [15]. Obecnie kopalnia ma trzy szyby: dwa wydobywcze, trzeci materiałowy.

Oryginalnym systemem eksploatacji był system komorowo-filarowy z trzema przodkami [7]. Komory miały szerokość ok. 18 m i wysokość ok. 13 m. Pozostawiano kwadratowe filary powierzchni 64 m² (8x8 m). Na roboty eksploatacyjne składał się cykl: wrębianie przy spągu, obwierc przodku komorowego krótkimi otworami strzałowymi na całą wysokość,

ładowanie, odpalanie, przewietrzanie, obrywka stropu i ociosów, kotwienie stropu, ładowanie i odstawa urobku do stanowiska kruszenia przy użyciu ładowarek i wozów odstawczych. Kotwienie stropu okazało się konieczne z powodu odpajania się soli, obrywów i znacznego tempa zaciskania wyrobisk.

W latach 90. ubiegłego wieku wprowadzono nowy system wybierania złoża, tzw. *bench mining* – wybieranie warstwami [7]. W tym systemie komory mają szerokość ok. 18 m i wysokość ok. 18 m. Wybieranie złoża odbywa się w dwóch etapach: najpierw, jako roboty przygotowawcze wybierana jest górna warstwa na grubość ok. 3,6 m, potem – jako roboty eksploatacyjne – warstwa dolna na grubość 14,6 m.

W pierwszym etapie drąży się cztery równoległe komory techniką strzałową z wrębieniem przy stropie i spągu. Do obwrotu przodku stosuje się wiertnicę. Załadunek urobku i odstawa do punktów zasypowych odbywa się przy użyciu ładowarek. Po każdym dwóch zabiorach następuje kotwienie stropu w siatce 1,5 m na długości do 5,5 m. Wybieranie komór w etapie pierwszym znacznie wyprzedza etap drugi.

W drugim etapie następuje wybieranie warstwy dolnej długimi otworami strzałowymi wierconymi skośnie w dół na długość 16,5 m. Do ładowania i odstawy urobku na odległość 1 km używa się ładowarek i wozów odstawczych. Zakład przeróbczy: kruszenia, mielenia i przesiewania znajduje się pod ziemią. Szybami wydobywany jest gotowy produkt. W 80% jest to sól drogowa. Około 20% odbiera przemysł chemiczny, a niewielka część służy do produkcji środków zmiękczenia wody.

Wydobycie kopalni sięga 7 mln ton/rok. Kopalnia zatrudnia ponad 300 osób [7].

2.3. Niemcy

Niemcy są trzecim w kolejności krajem na świecie o największym wydobyciu soli kamiennej. Sól wydobywana jest w kilku kopalniach, z których największą jest kopalnia Heilbronn należąca do firmy Südsalz GmbH (Südwestedeutsche Salzwerke AG).

2.3.1. Kopalnia Heilbronn

Złoże solne Heilbronn należy do triasowej formacji środkowego wapienia muszlowego. Stanowi niemal poziomy pokład soli kamiennej o grubości około 40 m zalegający na głębokości 170 – 230 m. Sól o wymaganej czystości (ok. 95 % NaCl) znajduje się w dolnej części złoża i ma grubość 10 – 12 m [1].

Kopalnia Heilbronn została założona w 1885 r. Miała dwa szyby, a po połączeniu podziemnych wyrobisk z kopalnią Kochendorf w 1984 roku – uzyskała szyb trzeci. W zachodniej części złoża, w związku z rozwojem kopalni został zgłębniony w 2004 roku nowy kolejny szyb [16].

Sól wybierana jest w systemie komorowo-filarowym. Komory mają szerokość 15 m, wysokość 10 – 20 m i długość do 200 m. Rozdzielone są prostokątnymi filarami o szerokości 15 m [1, 16].

Sól urabiana jest techniką strzelniczą lub z zastosowaniem ciągłego urabiania kombajnem. W pierwszym przypadku przodek obwiercany jest otworami strzałowymi z zastosowaniem wiertnicy. Materiał wybuchowy ładowany jest pneumatycznie. Po odstrzeleniu następuje maszynowa obrywka stropu i ociosów. Zasadniczo nie wykonuje się obudowy wyrobisk. Urobek jest ładowany i odstawiany przy użyciu ładowarek i wozów odstawczych do miejsc wstępnego kruszenia, a następnie przenośnikami taśmowymi do podziemnego zakładu przeróbczego. Gotowy produkt wydobywany jest dwoma szybami na powierzchnię. Od 2006 r. urabianie odbywa się także z zastosowaniem kombajnu [16].

Kopalnia może produkować rocznie 4 mln ton soli; głównie jest to sól przemysłowa i drogowa. Pustki poeksploatacyjne połączonych kopalń Heilbronn i Kochendorf mają ponad 60 mln m³ objętości [16]. Aby wykorzystać podziemne pustki obu kopalń w 1992 r. zostało założone przedsiębiorstwo UEV - Umwelt, Entsorgung und Verwertung GmbH należące do kompanii Südwestedeutsche Salzwerke AG. Przedsiębiorstwo zajmuje się przeróbką i pakowaniem różnych grup odpadów w zakładach przeróbczych, podziemną reutilizacją odpadów w kopalni Kochendorf i prowadzi składowisko odpadów niebezpiecznych w kopalni Heilbronn.

2.4. Wielka Brytania

Produkcja soli kamiennej w Wlk Brytanii odbywa się w dwóch kopalniach podziemnych w Winsford (Cheshire) i Kilroot (płn. Irlandia). Największą obecnie podziemną kopalnią soli kamiennej w Wlk. Brytanii jest Winsford Rock Salt Mine w hrabstwie Cheshire, należąca do spółki Compass Minerals UK Ltd.

2.4.1. Kopalnia Winsford

Eksploatowane w kopalni Winsford jest tu złożo wieku triasowego należące do formacji solonośnej Northwich Halite Formation (dolny kajper). Eksploatuje się tu złożo pokładowe, którego części o wartości przemysłowej zalegają na głębokości pomiędzy 130 i 220 m, a średnia miąższość jest równa około 25 m. Złoże jest nieco sfałdowane i ograniczone płaszczyznami uskoków [17,20].

Początki kopalni sięgają połowy XIX wieku [20]. Obecnie, złożo udostępnione jest trzema szybami: zjazdowym, zjazdowo-materiałowym i skipowym, z których najstarszy zbudowano w 1941 roku. Eksploatację prowadzi się systemem komorowo-filarowym. Wymiary komór i filarów zmieniały się w poszczególnych polach eksploatacyjnych. Typowe są teraz komory o wysokości 8 m i szerokości 20 m oraz rozdzielające je kwadratowe filary o boku 20 m (24 m). W kopalni nie stosuje się kotwienia oraz innych rodzajów obudowy.

Podstawową i jedyną przez kilkadziesiąt lat techniką urabiania była technika strzelnicza wspomagana maszynami i urządzeniami. Cykl robót w przodku składał się z następujących czynności: wrębienia przy spągu, wiercenia otworów strzałowych, strzelania, przewietrzania, ładowania i odstawy oraz obrywki. Stosowano wrębiarki, wiertnice do obwrotu przodku, pomosty do ładowania otworów strzałowych i maszyny do obrywki skał. Odstawa i transport do końca lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku odbywała się przy zastosowaniu samojezdnych ładowarek i wozów odstawczych. Potem wprowadzono system wstępnego kruszenia i ładowania urobku wprost na przenośniki taśmowe [20].

Dwanaście lat temu wprowadzono nową technikę urabiania – urabianie ciągłe z zastosowaniem kombajnu. Rozcięcie pola eksploatacyjnego zostało dostosowane do pracy kombajnu. Wycina on komory, wybierając dwie warstwy: górną i dolną na wysokość do 4,6 m każda, na długości 1 km. Filary powstają po wykonaniu w komorze przecinek prostopadłych do jej osi podłużnej. Urobek jest ładowany wprost na przenośnik.

Zakład przeróbczy kruszenia i mielenia znajduje się pod ziemią. Gotowy produkt wydobywany jest skipem na powierzchnię [20].

Kopalnia Winsford produkuje sól kamienną drogową w różnych gatunkach. Wydobycie w 2011 r. wynosiło 800 tys. ton [18].

W wyniku wieloletniej eksploatacji powstały pod ziemią pustki o objętości 23 mln m³. W części wyrobisk kopalni Winsford został zbudowany podziemny magazyn do przecho-

wywania zbiorów i archiwów. Duża część wyrobisk kopalni o objętości 2 mln m³ jest zagospodarowana przez podziemne składowisko odpadów niebezpiecznych Minosus należące do kompanii Veolia Environmental Services UK.

2.5. Włochy

Trzy podziemne kopalnie soli kamiennej we Włoszech znajdują się na Sycylii i należą do kompanii Societ' a Italiana Sali Alkalini. Są to kopalnie: Realmonte, Racalmuto i Petralia. Wydobycie łącznie wynosi 2 mln ton rocznie.

2.5.1. Kopalnia Realmonte

Złoże soli Realmonte znajduje się na południowym wybrzeżu Sycylii. Leży ono w basenie Caltanissetta, który wypełniają osady późnego neogenu z solnymi utworami formacji messyńskiej [4]. Złoże stanowi nachylony, gruby (miąższości 400 – 600 m) kompleks soli kamiennej i potasowej (kainitu) z towarzyszącymi gipsami.

Złoże udostępnione jest upadową i szybem wydechowym w centrum obszaru górniczego [8].

Eksploatacja prowadzona jest na kilku poziomach udostępnionych upadowymi. Sól wydobywana jest w systemie komorowo-filarowym o wymiarach komór: wysokość 7,5 m i szerokość 23 m, przy szerokości filarów międzykomorowych – 23 m. Urabianie odbywa się techniką strzelniczą, z wrębianiem przy stropie i spągu oraz z wierceniem otworów strzałowych wiertnicą. Stosowane jest też drążenie kombajnem. Ładowanie i odstawa urobku do podziemnego zakładu przerobczego odbywa się przy użyciu ładowarek. Stamtąd gotowy produkt transportowany jest przenośnikami taśmowymi na powierzchnię.

Zdolność produkcyjna kopalni w roku 2007 wynosiła 0,5 mln t/rok przy zatrudnieniu 60 osób (sezonowo). Obecnie wydobycie sięga 1 mln ton. Głównym produktem jest sól kamienna przemysłowa i drogową [8].

2.6. Rosja

Na terenach Rosji sól kamienna wydobywana jest podziemnie przez trzy przedsiębiorstwa: OAO Iletsksol', OAO Sil'vinit i FGUP Tyreetskii Solerudnik [10].

2.6.1. Kopalnia w Ilecku

Złoże solne Ileck leży w południowo-zachodniej części w obwodzie orenburskim. Jest to wysad solny utworzony z permskich soli kamiennych. W planie ma zarys eliptyczny o długości osi 1 i 2 km. Strop złoża znajduje się na głębokości od kilku do kilkudziesięciu metrów. Zbadana miąższość struktury w części środkowej sięga 2600 m [14].

Złoże eksploatowane jest przez kompanię Russol, która powstała w 2008 r., zajmującą się wydobyciem, przeróbką i dystrybucją soli.

Kopalnia ma dwa szyby. Sól wydobywa się z głębokości ok. 300 m systemem komorowym. Dawniej (połowa XX w.) sól wybierano systemem komorowym z przodkiem stropowo-schodowym. Komory miały szerokość 30 m, wysokość 20 – 28 m, długość kilkadziesiąt do 100 m, a filary międzykomorowe - szerokość 16 m. Stosowano wówczas wyłącznie urabianie techniką strzelniczą.

Obecnie wybiera się komory o wysokości ok. 30 m i długości - 500 m. Urabianie odbywa się maszynowo z zastosowaniem kombajnu typu Ural z wybieraniem na kilka warstw. Urobek transportowany jest przenośnikami do szybu, a stamtąd do zakładu przerobczego na powierzchni.

Kopalnia produkuje sól jadalną, sól przemysłową głównie dla przemysłu chemicznego, sole kosmetyczne i balneologiczne.

Wydobycie kopalni sięga 1,25 mln ton rocznie, przy zatrudnieniu 900 osób [14].

Zbiorcą charakterystykę omawianych w tym rozdziale kopalń przedstawiono w tabeli 3.

3. Wnioski: charakterystyka aktualnych trendów w górnictwie solnym

Na podstawie dokonanego przeglądu sposobów eksploatacji soli kamiennej można sformułować ogólne spostrzeżenia charakteryzujące współczesne górnictwo solne.

3.1. Położenie geograficzne

Głównymi odbiorcami soli kamiennej jest przemysł chemiczny, drogownictwo i przemysł spożywczy. Tak więc, zbyt soli jest zapewniony w regionach o rozwiniętym przemyśle chemicznym, w klimacie, w którym w zimie zwalczą się gołoledź na drogach, w miejscach z tanim i wygodnym transportem. Największe kopalnie soli znajdują się na północnej półkuli.

3.2. Budowa geologiczna i warunki górnictwo-geologiczne

Złoża soli kamiennej są bardzo zróżnicowane pod względem budowy geologicznej: od poziomych regularnie zalegających pokładów do najbardziej zaburzonych form jakimi np. są wysady solne. Obecnie prowadzi się eksploatację w złożach o różnych formach, na głębokości od kilkudziesięciu do kilkuset metrów (600 m). Są to grube pokłady i soczewki, pokłady średniej miąższości, ale zalegające na dużym obszarze, a także wysady lub inne tektoniczne struktury solne. Zagospodarowane złoża mają lub miały duże zasoby wystarczające na długie lata eksploatacji. Są to więc zwykle złoża bogate zarówno pod względem ilości, jak i jakości kopaliny, z dużymi kompleksami czystych soli, pozwalającymi na zastosowanie regularnego rozcięcia i wybierania.

Największe kopalnie eksploatują złoża pokładowe niezaburzone lub słabo zaburzone znajdujące się w korzystnych warunkach hydrogeologicznych.

3.3. Zagrożenia naturalne

Współczesne górnictwo solne stale spotyka się z zagrożeniami naturalnymi związanymi ze złożami solnymi. Powszechne jest zagrożenie wodne. Dopływ wód podziemnych do kopalni szczególnie zagraża przy zbyt szybkim tempie zaciskania wyrobisk, przy ich destabilizacji i obwałach skał stropowych, które powodują nadmierne deformacje nadległego górotworu i rozwój deformacji nieciągłych. Może to prowadzić do zatopienia kopalni i rozwoju zapadlisk na powierzchni. Przykłady tego rodzaju zdarzeń można wskazać w ciągu ostatnich kilkunastu lat m.in. w Kanadzie, Rosji, Ukrainie.

Zagrożenie wodne ma też inne źródła: może być związane z naruszeniem robotami górniczymi granic złoża, z zaszczościami eksploatacyjnymi w starych kopalniach, może pochodzić od nieszczelnej obudowy szybów, źle zlikwidowanych wierceń itp.

Zagrożenie związane z występowaniem metanu i innych gazów w złożach solnych pojawia się tylko w niektórych złożach. Nie uniemożliwia prowadzenia eksploatacji, jedynie wymaga zastosowania odpowiedniej techniki wykonywania robót górniczych.

Tablica 3. Charakterystyka podziemnych kopalń soli kamiennej
Table 3. Characteristics of rock salt underground mines

	KOPALNIE					
	COTE BLANCHE, USA	GODERICH, Kanada	HEILBRONN, Niemcy	WINSFORD, Wlk. Brytania	ILECK, Rosja	REALMONTE, Włochy
	1	2	3	4	5	6
GEOLOGIA	wysad solny, sole jurajskie formacji Luann, strop: 90 m gł., czystość soli: 95 % NaCl	złoże pokładowe, sole górno-sylurskie Salina Group, głębokość zalegania: 275–825 m, eksploatowany jest poziomo zalegający pokład soli o grubości 24–33 m	złoże pokładowe, sole triasowe formacji środkowego wapienia muszlowego, głębokość zalegania: 170–230 m, pokład niemal poziomy o grubości około 40 m, eksploatowana jest dolna część pokładu o grubości 10–12 m, czystość soli: 95 % NaCl	złoże pokładowe, nieco sfałdowane, sole triasowe (dolny kajper), głębokość zalegania części złoże o wartości przemysłowej 130–220 m, grubość złoże do 30 m, czystość soli: 95 % NaCl	wysad solny, sole permskie, strop złoże na głębokości od kilku do kilkudziesięciu metrów,	złoże pokładowe, sole formacji messyńskiej górnego neogenu, gruby nachylony pokład soli kamiennej i potasowej, grubość 400–600 m
WIEK I STRUKTURA KOPALNI	rok założenia: 1961 r. poziomy kopalni na głębokości: 335, 396 i 457 m	rok założenia: 1957–59 r., 3 szyby, eksploatacja na jednym poziomie - ok. 550 m głębokości	rok założenia: 1885 r. - kopalnia Heilbronn; w 1984 r. połączona z sąsiednią kopalnią Kochendorf, 3 szyby (1885, 1972, 2004),	połowa XIX w., obecnie trzy szyby (najstarszy z 1941 r.).	kopalnia założona w połowie XX w., 2 szyby, obecnie czynny jest szyb nr 2, eksploatacja z głębokości ok. 300 m	udostępnienie upadaw i szybem (otworem wielkośrednicowym) wentylacyjnym, złoże rozcięte na kilku poziomach udostępnianych upadawymi
SYSTEM EKSPLOATACJI	system komorowo-filarowy, wymiary komór: sz. 15 m, w. 24 m, filary kwadratowe: 30 x 30 m	system komorowo-filarowy, wymiary komór: sz. 18 m, w. 18 m, z dwuetapowym wybieraniem, tzw. <i>bench mining</i>	system komorowo-filarowy, wymiary komór: sz. 15 m, w. 10–20 m, dł. do 200 m; filary prostokątne o sz. 15 m	system komorowo-filarowy, typowe obecnie wymiary komór: w. 8 m, sz. 20 m, filary kwadratowe: 20 x 20 m (24 m)	system komorowy właściwy, dawniej z przodkiem stropowo-schodowym, obecnie wybiera się komory o wysokości ok. 30 m i długości 500 m, na kilka warstw	system komorowo-filarowy, wymiary komór: w. 7,5 m, sz. 23 m, sz. filarów międzykomorowych 23 m
TECHNOLOGIA	urabianie techniką strzelniczą, wybieranie komór dwuetapowe: warstwa stropowa 7,5 m z wrębieniem przy spągu, warstwa dolna – długie otwory strzałowe	I etap: wybieranie warstwy górnej techniką strzelniczą z wrębieniem; po załadunku i odstawie urobku następuje kotwienie stropu; II etap: wybieranie warstwy dolnej długimi otworami strzałowymi; do ładowania i odstawy urobku ładowarek i wozów odstawczych	urabianie techniką strzelniczą oraz od 2006 r. maszynowo z zastosowaniem kombajnu ciągłego urabiania, odstawa i transport przy użyciu ładowarek i wozów odstawczych do stanowiska wstępnego kruszenia, a następnie przenośnikami taśmowymi	podstawową techniką urabiania była technika strzelnicza, od 12 lat - urabianie ciągłe z zastosowaniem kombajnu; komory są wybierane na dwie warstwy, na długości 1 km, filary powstają po wykonaniu w komorze przecinek; urobek jest ładowany wprost na przenośnik	dawniej urabianie techniką strzelniczą, obecnie urabianie maszynowe ciągłe – kombajn typu Ural z wybieraniem na kilka warstw, transport urobku przenośnikami taśmowymi do szybu	urabianie techniką strzelniczą z wrębieniem przy stropie i spągu, stosowane jest też drażnienie kombajnem, ładowanie, odstawa i transport urobku przy użyciu ładowarek do podziemnego zakładu przerobczego, potem przenośnikami taśmowymi na powierzchnię
PRZERÓBKA	podziemny zakład przerobczy	podziemny zakład przerobczy	podziemny zakład przerobczy	podziemny zakład przerobczy	zakład przerobczy na powierzchni	podziemny zakład przerobczy
ZAGROŻENIA NATURALNE	zagrożenie metanowe o dużym nasileniu	konieczna jest ochrona wyrobisk przed obwałami poprzez kotwienie, zagrożenie metanowe	brak danych	brak zagrożenia metanowego	brak danych	brak danych
WYDOBYCIE, PRODUKTY ZATRUDNIENIE	3,5 mln t/rok, sól drogowa, ponad 150 pracowników	osiąga 7 mln t (9 mln t)/rok, 80 % - sól drogowa, 20 % - sól dla przemysłu chemicznego i in., ok. 300 pracowników	do 4 mln t/rok, głównie sól przemysłowa i drogowa	0,8 mln (1,5 mln t) t/2011 r., sól drogowa	do 1,25 mln t/rok, sól jadalna, przemysłowa głównie dla przemysłu chemicznego i in., 900 pracowników	0,5 mln t/rok 2007 przy obecnie 1 mln ton/rok, głównie sól przemysłowa i drogowa, kilkadziesiąt (60) pracowników
INNE			pozaeksploatacyjne wykorzystanie wyrobisk	pozaeksploatacyjne wykorzystanie wyrobisk		

3.4. System eksploatacji

Złoża soli kamiennej od wieków wybierano systemem komorowym właściwym. W XIX i XX wieku rozwinęły się dziesiątki odmian tego systemu: komór wysokich i niskich, dostosowujących się kształtem i wielkością do często bardzo skomplikowanej budowy geologicznej złóż, zwłaszcza w wysadach solnych w Niemczech. Później pojawiły się systemy komorowo-filarowe, najpierw w kopalniach soli potasowych. W II połowie XX w. w kopalniach soli kamiennych i potasowych ZSRR wypróbowywano dziesiątki odmian systemów komorowych, ubierkowych, zabierkowych i systemów mieszanych.

Obecnie, złoża soli kamiennej są wybierane głównie systemami komorowymi właściwymi lub systemami komorowo-filarowymi wzbogaconymi o wypróbowane i ulepszone techniki urabiania, ładowania, odstawy i transportu. Pierwsze z nich stosowane są głównie do złóż grubych: w złożach pokładowych, soczewkowych i w wysadach solnych, w eksploatacji wielopoziomowej.

Systemy komorowo-filarowe stosuje się w złożach różnego typu, ale raczej w złożach pokładowych, częściej przy eksploatacji jednopoziomowej.

3.5. Technologia eksploatacji

W wielu kopalniach wykształcił się ciągły łańcuch procesów technologicznych: urabianie – ładowanie – odstawa – transport do podziemnego zakładu przerobczego – transport do szybu – transport do magazynów na powierzchni i do zakładów konfekcjonowania soli, lub nieco inny dostosowany do przeróbki na powierzchni. Zaletą obecnie często stosowanej przeróbki pod ziemią (wstępnej lub całkowitej) jest uniknięcie problemów środowiskowych i kosztów związanych z transportem i zagospodarowaniem odpadów w postaci pyłu solnego. Poszczególne procesy są obsługiwane przez maszyny i urządzenia.

Podstawowy proces urabiania soli odbywa się dwiema metodami:

- techniką strzelniczą, uważaną do niedawna za podstawowy sposób urabiania soli kamiennej, ze względu na jej właściwości mechaniczne oraz coraz powszechniej – maszynowo kombajnami do ciągłego urabiania.

Urabianie techniką strzelniczą składa się z reguły z następujących zasadniczych czynności: wrębianie, wiercenie otworów strzałowych w przodku, ładowanie otworów strzałowych, odpalenie materiału wybuchowego, obrywka. Odstrzelony urobek dostarczany jest do stanowiska wstępnego kruszenia. Każda czynność wykonywana jest przez odpowiednie maszyny i urządzenia.

Zastosowanie w to miejsce kombajnu upraszcza eksploatację.

Do obydwu metod urabiania dostosowane są sposoby ładowania na środki odstawy. Transport urobku do szybu odbywa się przenośnikami taśmowymi.

3.6. Stateczność wyrobisk i ich długotrwałe utrzymywanie

W kopalniach soli utrzymanie wyrobisk i zachowanie ich stateczności ma szczególne znaczenie: jak w każdej kopalni podziemnej pozwala utrzymać ich funkcjonalność, a w większej skali – zachować strukturę kopalni, ale przede wszystkim należy do podstawowej profilaktyki przed zagrożeniem wodnym – do zachowania szczelności górotworu.

Górotwór solny ma specyficzne właściwości mechaniczne wyrażające się m.in. tym, że odpowiednio wymiarowane wyrobiska górnicze, także komory o dużych rozmiarach, mogą

zachowywać stateczność mechaniczną przez wiele lat. Stąd też, w górnictwie soli kamiennej z reguły nie ma potrzeby likwidowania wyrobisk przed zakończeniem eksploatacji w kopalni. W ten sposób wraz z upływem czasu narasta liczba pustek poeksploatacyjnych o dużych objętościach. Ponieważ tempo wydobywania soli przy przeważnie bardzo dużych zasobach jest niewielkie w porównaniu np. z wydobywaniem węgla kamiennego, puste wyrobiska muszą zachowywać długo trwałą stateczność.

Jednakże, w niektórych kopalniach górotwór solny nie wykazuje takich korzystnych właściwości i konieczne jest stosowanie obudowy wyrobisk, specjalnych sposobów rozcięcia złoża i zabiegów technicznych. Konieczne jest wówczas:

- utrzymanie stropu i ociosów wyrobisk, ochrona przed lokalnymi obwałami, ochrona przed łuszczeniem,
- długoterminowa ochrona wyrobisk i pól eksploatacyjnych przed nadmierną konwergencją i subsydencją, które mogą prowadzić do naruszenia ciągłości skał stropowych.

Obecnie, w tych kopalniach soli, w których jest to konieczne, dla ochrony i utrzymania wyrobisk stosuje się głównie obudowę kotwioną, przeprowadza specjalne zabiegi techniczne (np. odpowiedni sposób wrębiania, nacięcia w filarach lub stropie) oraz poprzez odpowiednie rozmieszczenie i kolejność wybierania wyrobisk doprowadza do utworzenia strefy odprężonej nad chronionym wyrobiskiem.

Długoterminową ochronę pól eksploatacyjnych zapewnia właściwy dobór systemu eksploatacji z odpowiednio wymiarowanymi wyrobiskami i filarami.

3.7. Zagospodarowanie wyrobisk

Sposób prowadzenia eksploatacji w kopalniach soli prowadzi, jak wspomniano, do powstawania zespołów wyeksploatowanych wyrobisk osiągających w starszych kopalniach kilkanaście lub więcej milionów m³ objętości. Są to zwykle komory, których liczba w jednej kopalni może sięgać kilku tysięcy. Środowisko kopalń soli z przestronnymi statecznymi wyrobiskami charakteryzuje się stałą wilgotnością, stałą temperaturą, izolacją, brakiem wstrząsów, hałasu, promieniowania elektromagnetycznego. Od dawna zaczęto dostrzegać te zalety i kilkadziesiąt lat temu (lata 60. i 70. XX w.) zaczęły powstawać inicjatywy pozaeksploatacyjnego wykorzystania podziemnych wyrobisk na skalę komercyjną i przemysłową.

3.8. Problemy starych kopalń

W kopalniach soli kamiennej funkcjonujących często kilkadziesiąt, a nawet sto kilkadziesiąt lat, poza zachowaniem długotrwałej stateczności wyrobisk i pól eksploatacyjnych pojawia się z upływem czasu problem starzenia się struktury przestrzennej kopalni i jej infrastruktury. Pojawia się najczęściej w kontekście planów modernizacji kopalni, zmian w technologii eksploatacji, mechanizacji, zwiększenia produkcji, obniżenia kosztów czy projektów pozaeksploatacyjnego wykorzystania wyrobisk. Pojawiają się problemy związane np.:

- ze wzrostem odległości pól eksploatacyjnych od szybów,
- z koniecznością schodzenia z eksploatacją na większe głębokości,
- z zaszłościami dotyczącymi rozcięcia złoża i sposobu jego eksploatacji,
- niewydolności sieci wentylacyjnej w miarę rozrastania się w kopalni (szczególnie w systemach komorowo-filarowych),
- z przepustowością szybów,
- z ograniczonymi wymiarami wyrobisk transportowych,
- z koniecznością unowocześniania technologii przeróbki i in.

Te problemy są wspólne dla wielu starszych kopalń soli na świecie.

3.9. W Polsce są dwie podziemne kopalnie soli: kopalnia w Kłodawie (Kopalnia Soli „Kłodawa”) prowadząca eksploatację już blisko 60 lat w złożu wysadowym oraz nowa kopalnia soli kamiennej zakładana w złożu pokładowym Bądźów (KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”). Krajowe górnictwo solne mierzy się tu z szeregiem problemów zasadniczo różniących się dla obu kopalń i złóż, wynikających z budowy geologicznej, właściwości soli kamiennej, wieku kopalń, sposobu urabiania kopaliny i in.

Dokonany przegląd działalności kopalń soli na świecie, stosowanych na świecie technik i próba charakterystyki współczesnego górnictwa soli kamiennej powinny posłużyć do znalezienia najlepszych rozwiązań w kraju.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.100.775.

Literatura

1. *Bohnenberger G.P.*: The Heilbronn Rock Salt Mine – Salt Production for New Century. 8th World Salt Symposium. Ed.: Geertman R.M. Elsevier Science, 2000.
2. *Bolen W.P.*: Salt. Mineral Commodity Summaries 2014. U.S. Geological Survey, 2014.
3. Connolly A. et al., 2009 - Measurements of radio propagation in rock salt for the detection of high-energy neutrinos. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 599.2 : 184-191, 2009.
4. *Czapowski G., Bukowski K., Tomasz-Morawiec H., Poborska-Młynarska K.*: Kopalne i współczesne ewaporaty Sycylii: II wyprawa naukowa Polskiego Stowarzyszenia Górnictwa Solnego „Sycylia 2007”. „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2008, t. 24, z. 3/2.
5. *Dickie D.E., Bull G.S., Serata S.*: Rock mechanics and Mining: Their Interrelationship at Sifto Canada Inc.’s Goderich Mine. Seventh Symposium on Salt, Vol.I. Ed.: Kakihana H., Hardy H.R. Jr, Hoshi T., Toyokura K. Elsevier. Amsterdam, 1993.
6. *Dumont M.*: Salt. Canadian Minerals Yearbook 2008.
7. Innovative salt mining method pays big dividends – Engineering and Mining Journal, September 1997, Vol. 198, Issue 9.
8. Italkali - Società Italiana Sali Alcalini S.p.A. Production sites. Realmonte. www.italkali.com
9. *Jeremic M.L.*: Rock Mechanics in Salt Mining. Balkema. Rotterdam, 1994.
10. Kondrat’eva I.F.: Russia’s Salt Industry: Problems of Development. Studies on Russian Economic Development, 2009, Vol. 20, No. 3, pp. 254–258, 2009.
11. *Molinda G.M.*: Investigation of Methane Occurrence and Outbursts in the Cote Blanche Domal Salt Mine, Louisiana. Bureau of Mines report of investigation 9186, 1988.
12. *Permakov R.S. (red.)*: Spravochnik po razrabotke sol’nykh mestorozhdenii. Moskwa. Nedra, 1986.
13. Report of investigation. United States Department of Labor. Falling Material Accident April 16, 2013. North American Salt Company Cote Blanche Mine, Franklin, St. Mary Parish, Louisiana. www.msha.gov/FATALS/2013/FTL13m05.asp
14. Russol. Katalog. Iletskoje mestorozhdenie kamennoj soli. www.russalt-sz.ru/
15. Salt in Canada. Sifto’s Goderich mine. www.siftocanada.com
16. Sudwestdeutsche Salzwerke AG. Salzgewinnung und Aufbereitung. <http://www.salzwerke.de/>
17. *Swift G.M., Reddish D.J.*: Underground excavation in rock salt. Geotechnical and Geological Engineering 23. Springer, 2005.
18. USGS 2012 Minerals Yearbook. Salt (advance release). USGS Minerals Information. www.minerals.usgs.gov.
19. USGS Minerals Commodity Summary 2015. Minerals Information. www.minerals.usgs.gov.
20. Winsford rock salt mine. Its history, workings and production. www.winsfordrocksaltmine.co.uk
21. www.compassmineralsuk.com