



# Przegląd technologii eksploatacji soli kamiennej w kopalniach podziemnych

*The review of the rock salt exploitation techniques in the underground rock salt mines*

Katarzyna POBORSKA-MŁYNARSKA

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii,  
al. Mickiewicza 30, 30-962 Kraków; kpm@agh.edu.pl

## STRESZCZENIE

Produkcja soli kamiennej w podziemnych kopalniach soli na świecie przekracza 43 mln ton rocznie. Sól kamienną eksploatuje się stosując różne techniki i systemy wybierania, w zależności od budowy geologicznej i warunków geologiczno-górnictwowych w złożu, stopnia mechanizacji, lokalnego doświadczenia górnictwa i tradycji. Największymi producentami soli są kopalnie w Stanach Zjednoczonych, Kanadzie i Niemczech. Powszechnie stosowanymi systemami eksploatacji w kopalniach soli są systemy komorowe właściwe oraz komorowo-filarowe. Urabianie skał odbywa się dwiema technikami: z zastosowaniem materiałów wybuchowych oraz maszynowo kombajnami chodnikowymi. Związane są z tym rozmaite rozwiązania procesów ładowania, odstawy i transportu urobku. W Polsce działają dwie podziemne kopalnie soli: Kopalnia Soli „Kłodawa” oraz rozpoczynająca produkcję nowa kopalnia - oddział eksploatujący sól w złożu Bądźów w KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”. Wielkość wydobycia pochodzącego z kopalni w Kłodawie przekroczyła w 2013 r. 0,6 mln ton. W obu kopalniach stosuje się systemy eksploatacji komorowe właściwe z odmienną techniką urabiania skał. Przegląd sposobów i technik eksploatacji stosowanych obecnie w kopalniach soli na świecie może być inspiracją dla rozwiązań w kopalniach soli w kraju.

**Słowa kluczowe:** sól kamienna, technika eksploatacji, kopalnia soli

## ABSTRACT

The global production of rock salt in underground salt mines does not exceed 43 million tons a year. Rock salt is mined with various technologies and extraction systems, de-

pending on the geological structure and mining conditions of the deposits and the degree of mechanization, as well as the local mining experiences and traditions. The salt mines located in the United States, Canada, and Germany are the largest rock salt producers. Chamber and chamber-and-pillar extraction systems are the most often used methods of salt extraction. Rock cutting is based on two techniques: one with the use of explosives and the other one based on the use of machines: continuous miners. These methods are also associated with various solutions provided for the processes of loading, delivery, and transportation of the salt. Two underground salt mines operate currently in Poland: the “Kłodawa” Salt Mine and the newly established Salt Extraction Division “Polkowice-Sieroszowice” Salt Mine of the Bądźów Salt Deposit, division of the KGHM Polska Miedź S.A. The output of the “Kłodawa” Salt mine exceeded 0.6 million tons in 2013. Both Polish salt mines apply the chamber extraction systems, with diverse rock cutting techniques. A review of the global mining methods and techniques may be an inspiration for the selection of extracting solutions for the Polish salt mines.

**Key words:** rock salt, exploitation techniques, salt mine

## WSTĘP

Sól kamienna jest jednym z podstawowych surowców chemicznych, wydobywanym głównie dla przemysłu chemicznego, drogownictwa (dla zwalczania oblodzenia w zimie), przemysłu spożywczego a także wielu innych celów. Największa ilość soli otrzymywanej ze złóż solnych na świecie produkowana jest w kopalniach otworowych w postaci solanki. Wydobycie soli kamiennej w kopalniach podziemnych jest znacznie mniejsze i przekracza 43 mln ton rocznie.

Największymi producentami soli kamiennej są USA (ponad 18 mln t/rok), Kanada (ok. 10 mln t/rok) i Niemcy (ponad 9 mln t/rok), których łączne wydobycie stanowi 2/3 wydobycia światowego. Pozostali więksi producenci to obecnie: Hiszpania, Wlk. Brytania i Pakistan [3,4,7]. W Polsce wydobycie soli kamiennej z kopalń podziemnych przekroczyło 0,6 mln t w 2013 r., chociaż w poprzednich latach wydobywano około 1 mln ton [5].

Duże zróżnicowanie budowy geologicznej złóż solnych i panujących w nich warunków geologiczno-górnictwowych, możliwości techniczne, stopień mechanizacji, wiek kopalni oraz lokalne doświadczenia i tradycje są głównymi przyczynami zróżnicowania sposobów eksploatacji soli. Przegląd technologii w kopalniach soli na świecie pozwala na określenie na tym tle miejsca polskiego górnictwa solnego oraz wskazanie obecnie stosowanych rozwiązań. Przeglądu dokonano, biorąc pod uwagę kopalnie w Ameryce Północnej, Europie i Azji (Rosja), należące do grupy największych producentów soli kamiennej.

#### BUDOWA GEOLOGICZNA I GEOLOGICZNO-GÓRNICZE WARUNKI W EKSPLOATOWANYCH ZŁOŻACH

Złoża soli kamiennej charakteryzują się wybitnym zróżnicowaniem budowy geologicznej. Przybierają formy od najbardziej regularnych – np. poziomo zalegające pokłady, po najbardziej zaburzone – złoża fałdowe o skomplikowanej budowie lub złoża wysadowe. Forma złóż, miąższość, głębokość zalegania mają pierwszorzędny wpływ na strukturę zakładanej w złożu kopalni i sposób eksploatacji.

Kopalnie o największym wydobyciu eksploatują głównie nie zaburzone lub mało zaburzone złoża pokładowe zalegające na głębokości stu kilkudziesięciu – trzystu – pięciuset metrów. Złoża mają często znaczne miąższości sięgające bądź przekraczające 100 m, ale eksploatacja odbywa się w wybranych pokładach solnych o miąższości kilkunastu – dwudziestu kilku metrów.

Przykłady takich kopalń to:

- w Stanach Zjednoczonych American Rock Salt Company w Hampton Corners (New York),
- w Kanadzie kopalnia Goderich (Ontario) [2,9,10],
- w Niemczech kopalnia Heilbronn [1,8],
- w Wlk. Brytanii kopalnia Winsford (Cheshire) [6,15],
- na Ukrainie – kopalnie rejonu Artemowska.

W złożach wysadowych, w wyniku stromego lub pionowego ułożenia się warstw solnych, zasoby surowca zalegają do bardzo dużych głębokości, natomiast ich rozprzestrzenienie poziome jest zwykle ograniczone. Charakterystyczna dla tego typu złóż jest często bardzo skomplikowana, nieregularna budowa wewnętrzna. Kopalnie założone w wysadach solnych prowadzą eksploatację na różnych i często – w miarę

kontynuowania wydobycia w głąb – na znacznych głębokościach 500, 700 i więcej metrów pod powierzchnią.

Przykłady dużych kopalń soli kamiennej w złożach wysadowych to: w Stanach Zjednoczonych kopalnie w Luizjanie nad Zatoką Meksykańską, w Niemczech – kilka kopalń w rejonie hanowerskim, w Polsce kopalnia w Kłodawie, w Rosji – w Ilecku i in.

Warunki geologiczno-górnictwowe w poszczególnych złożach są bardzo zróżnicowane. Wynikające z nich naturalne zagrożenia specyficzne dla kopalń soli, to przede wszystkim zagrożenie wodne i zagrożenie wynikające z obecności w złożach szkodliwych gazów, takich jak m.in.: metan, siarkowodór, dwutlenek węgla [12].

Najpoważniejsze zagrożenie dla kopalń soli – zagrożenie wodne jest powszechne i wynika zarówno z budowy geologicznej złoża i jego otoczenia, warunków hydrogeologicznych w nadkładzie i otoczeniu złoża, jak i z faktu rozpuszczalności kopaliny. Powtarzające się na świecie przypadki katastrof wodnych w kopalniach soli (np. katastrofalne zatopienie kopalni soli Retsof w USA w stanie New York - 1994 r., zatopienie kopalni soli potasowych Berezniki 1 w Rosji w rejonie Solikamska – 2007 r.) ukazują, jak poważnym problemem dla górnictwa solnego jest prowadzenie bezpiecznej eksploatacji w obliczu zagrożenia wodnego.

#### SYSTEMY EKSPLOATACJI I TECHNOLOGIA ROBÓT GÓRNICZYCH

##### Systemy eksploatacji

Do budowy geologicznej złoża dostosowuje się strukturę przestrzenną kopalni i system eksploatacji. W złożach pokładowych poziomych lub o niewielkim nachyleniu, eksploatacja jest prowadzona jednopoziomowo lub na dwóch, trzech poziomach, zgodnie z miąższością złoża lub ilością pokładów. Kopalnia rozprzestrzenia się w poziomie, zgodnie z postępowaniem eksploatacji.

W formach wysadowych (także w diapirach solnych, formach antyklinalnych, w stromo zapadających pokładach itp.) eksploatacja rozwija się zasadniczo w pionie, jest to więc eksploatacja wielopoziomowa, często ograniczona w zasięgu poziomym przez granice złoża.

Najbardziej rozpowszechnione obecnie w górnictwie soli kamiennych są systemy komorowo-filarowe oraz systemy komorowe właściwe [4,12,13,14]. Komory są najczęściej prostopadłościowe, rozdzielone filarami o planie prostokąta lub kwadratu. Wymiary komór i rozdzielających je filarów w polach wydobywczych zależą od szeregu czynników takich jak: głębokość eksploatacji, miąższość złoża, właściwości fizyczne i mechaniczne skał złoża i nadkładu, kształt komór i filarów.

W regularnych złożach pokładowych stosowane są zarówno systemy komorowo-filarowe, jak i komorowe właściwe. Pewne szczególne odmiany systemów komorowo-filarowych określa się jako panelowe [11]. Możliwe jest tu urabianie ciągłe, można zastosować pełną mechanizację urabiania, odstawy i transportu kopalnianego. W złożach wysadowych stosuje się również systemy komorowo-filarowe i komór właściwych, ale często w odmianach bardziej zindywidualizowanych, przystosowanych do lokalnych warunków geologicznych i umożliwiających pionowy rozwój pól eksploatacyjnych. Możliwe jest tu urabianie masowe, odstawa i transport dołowy odbywają się zarówno w poziomie, jak i w pionie (transport grawitacyjny), trudniejsza jest mechanizacja transportu i zachowanie ciągłości w poszczególnych etapach robót górniczych.

### Urabianie, ładowanie, odstawa

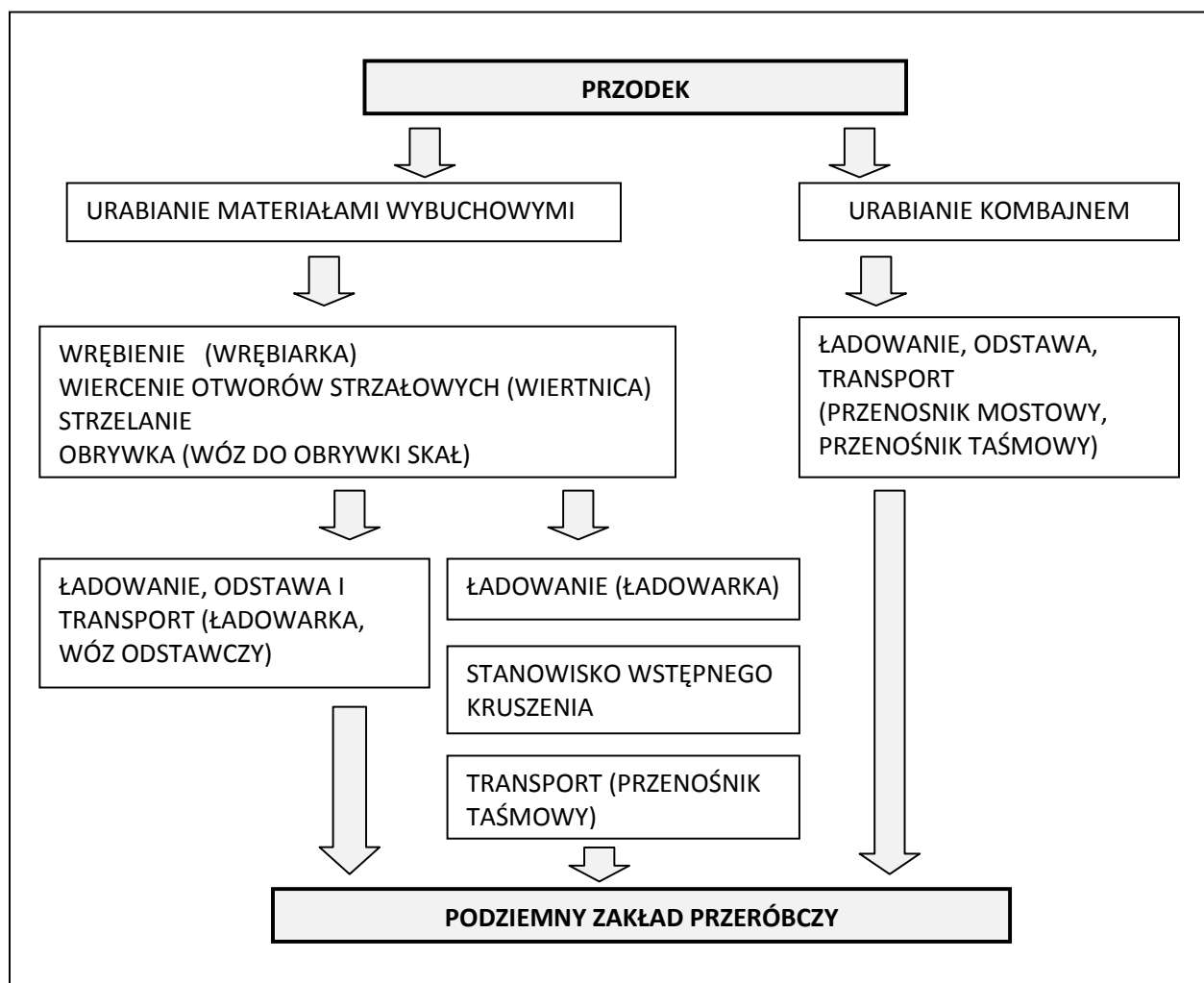
Zarówno drażnienie wyrobisk korytarzowych, jak i urabianie w przodkach eksploatacyjnych odbywa się techniką

strzelniczą lub z zastosowaniem kombajnów chodnikowych (kombajnów ciągłego urabiania). W technice strzelniczej stosuje się różne rozwiązania podnoszące skuteczność działania MW w lokalnych warunkach, np. wrębiecie lub specjalne sposoby włomowania.

Sposoby ładowania i odstawy w polach eksploatacyjnych są zróżnicowane; zależą m.in. od budowy złoża, techniki eksploatacji i wyposażenia technicznego. Często używa się ładowarek i wozów odstawczych. Dla obu technik urabiania, ciągi technologiczne: urabianie – ładowanie – odstawa różnią się. Przykładowe rozwiązania przedstawiono na schemacie (Ryc. 1).

### Obudowa

W większości kopalń nie ma potrzeby stawiania obudowy wyrobisk górniczych: korytarzowych i eksploatacyjnych, wykonywanych w soli. Wynika to ze specyficznych właściwości mechanicznych górotworu solnego, w którym odpowiednio wykonane wyrobiska charakteryzują się długotrwałą statecz-



Ryc. 1. Ciąg technologiczny: urabianie – ładowanie – odstawa – transport w przodkach kopalni soli, dla strzelniczej i maszynowej techniki urabiania; przykłady.

Fig. 1. Technological sequence: rock breaking – loading – haulage – transport in salt mine stopes for the drill-and-blast and continuous mining; examples.

nością. Jednak są złoża soli kamiennej, w których skały stropowe ulegają obwałom i konieczne jest wówczas wykonanie obudowy lub stosowanie specjalnych rozwiązań i zabiegów technicznych powstrzymujących niszczenie wyrobisk. W takich przypadkach powszechnie stosowana jest obudowa kotwowa.

### Transport

Na poziomach transportowych urobek może być transportowany wozami kopalnianymi kolei podziemnej lub przenośnikami taśmowymi. W nowszych lub modernizowanych kopalniach, kolej podziemna jest zastępowana transportem taśmowym, prowadzącym od pól eksploatacyjnych do szybu lub do podziemnego zakładu przerobczego, czasem wprost na powierzchnię. Dotyczy to przede wszystkim złóż pokładowych, poziomych. Do tego rodzaju transportu, urobek otrzymywany techniką strzelniczą jest rozdrabniany w polach eksploatacyjnych na stanowiskach wstępnego kruszenia. W złożach grubych, w wysadach solnych transport urobku pomiędzy poziomami może odbywać się grawitacyjnie. W szybach urobek wydobywany jest na powierzchnię skipami lub w wozach kopalnianych klatkami szybowymi.

### Likwidacja pustek poeksploatacyjnych

W kopalniach soli, prawidłowo zwymiarowane wyrobiska eksploatacyjne zachowują długotrwałą stateczność. Nie ma więc konieczności likwidowania wyeksploatowanych komór sukcesywnie z postępem wybierania soli. Problem ten jest zwykle odsunięty na czas likwidacji kopalni.

#### TECHNOLOGIA EKSPLOATACJI SOLI KAMIENNEJ W KRAJU

W Polsce sól kamienna wydobywana jest od przeszło 60 lat w Kopalni Soli „Kłodawa” oraz w rozpoczynającej produkcję nowej kopalni - oddziale eksploatującym sól w złożu Bądzów w KGHM Polska Miedź S.A. O/ZG „Polkowice-Sieroszowice”.

Kopalnia w Kłodawie wydobywa sól w wysadzie solnym w ilości przekraczającej 0,6 mln ton w 2013 r. Prowadzi się tu eksploatację wielopoziomową, obecnie w trzech polach eksploatacyjnych. Sól urabiana jest techniką strzelniczą w systemie komorowym właściwym. Urobek odstawiany jest ładownikami i wozami odstawczymi do otworów zsypanych, którymi dostaje się na poziom transportowy. Stamtąd, sól jest transportowana wagonami kolei podziemnej do komory wstępnego kruszenia przy szybie, a następnie szybem skipowym na powierzchnię do zakładu przerobczego.

Złoże solne zagospodarowane w ZG „Polkowice-Sieroszowice” jest pokładem o kilkustopniowym upadzie i zmiennej miąższości. Eksploatacja odbywać się będzie systemem komorowym właściwym z urabianiem maszynowym kombajnami chodnikowymi. Urobek jest odstawiany wozami od-

stawczymi do podziemnego zakładu przerobczego, a następnie jako gotowy produkt szybem na powierzchnię.

Jak wspomniano, eksploatowane złoża mają odmienną formę: wysadu solnego w Kłodawie i złoża pokładowego Bądzów. W obu kopalniach zastosowano odmienne, dostosowane do budowy geologicznej struktury udostępnienia i rozcięcia złoża, odmienne techniki urabiania skał, odmienne rozwiązania w transporcie kopalnianym i w lokalizacji zakładu przeróbki. W obu kopalniach obserwuje się odmienne problemy związane ze statecznością wyrobisk i zagrożeniami naturalnymi. Całkowicie odmienna jest też perspektywa funkcjonowania kopalni starej i nowej.

#### PODSUMOWANIE - PORÓWNANIE TECHNOLOGII EKSPLOATACJI SOLI KAMIENNEJ W KRAJU I NA ŚWIECIE

Na tle przeglądu technologii eksploatacji soli kamiennej w kopalniach podziemnych na świecie, wyraźnie zarysowują się podobieństwa i różnice oraz stan technologicznego zaawansowania górnictwa solnego w kraju. Przedstawia się je w kolejnych punktach.

1. W Polsce sól wydobywa się ze złoża wysadowego i pokładowego. W obu złożach eksploatacja prowadzona jest na głębokości: do 750 m w kopalni „Kłodawa” i na podobnych oraz w przyszłości na większych głębokościach w złożu „Bądzów”. W porównaniu z kopalniami soli na świecie jest to głębokość stosunkowo duża.

2. W kraju stosuje się systemy eksploatacji komorowe właściwe w kilku odmianach. Systemy te są również stosowane w lokalnych odmianach w wielu kopalniach soli na świecie. Można jednak zauważyć, że w regularnych złożach pokładowych sól wybierana jest częściej systemami komorowo-filarowymi.

3. Obydwie stosowane w Polsce techniki urabiania skał: materiałami wybuchowymi i maszynowa - kombajnami chodnikowymi (ciągłego urabiania), stosowane są w wielu kopalniach na świecie. W niektórych przedsiębiorstwach, podczas modernizacji techniki urabiania w powiązaniu z systemem odstawy i transportu, przechodzi się na urabianie maszynowe. Jednakże, u wielu producentów soli kamiennej, np. w największych kopalniach soli w Stanach Zjednoczonych, sól urabiana jest nadal materiałami wybuchowymi.

4. Jak dotąd, w obu krajowych kopalniach soli nie stosuje się obudowy. Obudowa wyrobisk korytarzowych i komorowych w kopalni „Kłodawa” jest stawiana sporadycznie.

5. W kopalniach soli kamiennej eksploatację prowadzi się z reguły z zachowaniem wieloletniej stateczności wyrobisk, nie ma więc konieczności sukcesywnego likwidowania przestrzeni wybranej. W kopalniach soli następuje więc stały jej przyrost. Problem likwidacji wyrobisk poeksploatacyjnych o często ogromnej łącznej objętości kilkunastu-kilkudziesięciu milionów metrów sześciennych dotyczy głównie starszych kopalń o wyczerpujących się zasobach. Od kilku-

dziesięciu lat coraz powszechniejsze jest wykorzystywanie starych wyrobisk w kopalniach soli dla celów poza-eksploatacyjnych, o ile pozwalają na to warunki geologiczno-górnictwa i techniczne. Jednym z takich sposobów jest podziemne składowanie odpadów. Przed problemem likwidacji wyrobisk może w ciągu kolejnych lat stanąć kopalnia soli w „Kłodawie”.

6. Przeróbka soli polegająca głównie na jej kruszeniu, mieleniu i przesiewaniu jest końcowym etapem produkcji soli kamiennej. Obecnie, w wielu kopalniach na świecie zakłady przerobcze zakładają się w wyrobiskach górniczych pod ziemią. Takie usytuowanie zakładu przeróbki jest korzystniejsze, przede wszystkim ze względu na koszty transportu urobku i oddziaływanie na środowisko. Zakład przerobczy w kopalni „Kłodawa” znajduje się na powierzchni, a w ZG „Polkowice-Sieroszowice” – pod ziemią.

**Praca została wykonana w ramach badań statutowych Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie nr 11.11.100.775.**

#### LITERATURA / REFERENCES

1. BOHNENBERGER G.P., 2000. The Heilbronn Rock Salt Mine – Salt Production for New Century. *8<sup>th</sup> World Salt Symposium*. Ed.: Geertman R.M. Elsevier Science: 357-362.
2. DICKIE D.E., BULL G.S., SERATA S., 1993. Rock mechanics and Mining: Their Interrelationship at Sifto Canada Inc.'s Goderich Mine. *Seventh Symposium on Salt*. Ed.: Kakihana H., Hardy H.R. Jr, Hoshi T., Toyokura K., 1: 243-249.
3. <http://minerals.usgs.gov/>. BOLEN W.P., 2014. Salt. Mineral Commodity Summaries 2014. U.S. Geological Survey.
4. <http://minerals.usgs.gov/>. KOSTICK D.S., 2011. Salt. USGS 2011 *Minerals Yearbook*. Vol. I: Metals and Minerals. US Geological Survey 2013.
5. <http://pgi.gov.pl>. Surowce mineralne Polski. Surowce chemiczne. Sól kamienna.
6. <http://www.compassmineralsuk.com/>. Winsford rock salt mine. The history, workings and production.
7. <http://www.nrcan.gc.ca/>. DUMONT M., 2008. Salt. *Canadian Minerals Yearbook 2008*.
8. <http://www.salzwerke.de/>. Salzerlebnis. Salzgewinnung.
9. <http://www.siftocanada.com/>. Sifto's Goderich Mine.
10. Innovative salt mining method pays big dividends. *Engineering and Mining Journal*, September 1997, Vol. 198, Issue 9.
11. JEREMIC M.L., 1994. Rock Mechanics in Salt Mining. Balkema. Rotterdam.
12. MOLINDA G.M., 1988. Investigation of Methane Occurrence and Outbursts in the Cote Blanche Domal Salt Mine, Louisiana. *Bureau of Mines report of investigation 9186*.
13. PERMAKOV R.S. (red.), 1986. Spravocnik po razapotke sol'anykh mestorozdenii. Moskwa. Nedra.
14. PETERSEN G., PLUMEAU D., RANKIN J., 1993. Practical Approach to Mine Design at the Cayuga Rock Salt Mine. *7th Symposium on Salt*. Ed.: Kakihana H., Hardy H.R. Jr, Hoshi T., Toyokura K., 1: 259-264.
15. SWIFT G.M., REDDISH D.J., 2005. Underground excavation in rock salt. *Geotechnical and Geological Engineering* 23: 17-42.