

## TECHNIKI EKSPLOATACJI ŁUGOWNICZEJ W ZŁOŻU SOLNYM ŁĘŻKOWIC – Z HISTORII PRODUKCJI SOLANKI NA PODKARPACIU

**Solution Mining Techniques at Łęzkowice Salt Deposit –  
from the history of brine production in the Sub-Carpathian region**

**Katarzyna POBORSKA-MŁYNARSKA**

*Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii;  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków; e-mail: kpm@agh.edu.pl*

**Treść:** Złoże soli kamiennej w Łęzkowicach leżące na Podkarpaciu na wschód od Krakowa było eksploatowane metodą ługowniczą z powierzchni w latach 1968–1988. Do produkcji solanki zastosowano kilka odmian technologicznych ługowania. Wraz z postępowaniem wydobywania na polach eksploatacyjnych rozwinęły się niecki osiadań, powstały liczne zapadliska i doszło do zasolenia rzeki Raby. Przez wiele lat podczas eksploatacji i po jej zakończeniu trwały próby zapobiegania destrukcji powierzchni poprzez podsadzanie komór. W artykule scharakteryzowano techniki ługownicze oraz skutki ich stosowania wyrażające się niewłaściwym rozwojem komór. W 2008 roku proces likwidacji kopalni oraz szkód górniczych na powierzchni został zakończony a teren dawnej kopalni – zrekultywowany. Celem artykułu jest zreasumowanie doświadczeń Otworowej Kopalni Soli „Łęzkowice” w dziedzinie technik ługowniczych w roku jej ostatecznej likwidacji.

**Słowa kluczowe:** górnictwo solne, technologia eksploatacji ługowniczej, ługowanie komór solnych, Łęzkowice

**Abstract:** The rock salt deposit Łęzkowice occurs in the Sub-Carpathian region to the east of Krakow. The deposit was exploited by solution mining from the surface since 1968 to 1988. Several solution mining techniques were applied in the mine for brine production. Consequently to the progress of the brine output, the subsidence troughs were developed on the well field, numerous sinkholes were created and then the salinity of Raba river appeared. During the exploitation and many years after the mine closure the great attempts were carried out to limit the surface damages by salt caverns backfilling. In the article several leaching techniques applied in the Łęzkowice mine are presented as well as the resulting incorrect cavern development. The process of backfilling, leveling of surface damages and mining area recultivation finished in 2008. The goal of the article is the recapitulation of the solution mining experience in the “Łęzkowice” mine in the year of its final closure.

**Key words:** salt mining, solution mining, cavern leaching, Łęzkowice

## WPROWADZENIE

Otworowa Kopalnia Soli „Łęzkowice” wchodząca w skład Kopalni Soli „Bochnia” prowadziła eksploatację złoża soli kamiennej metodą ługowniczą z powierzchni przez 20 lat od 1968 do końca 1987 roku. Pole otworowe kopalni zajmowało 20,7 ha. Ze złoża wydobyto 16,5 mln m<sup>3</sup> solanki zawierającej 5 mln Mg soli, a łącznie z solą, która przedostała się do Raby – ok. 6 mln Mg. Przez kolejne 20 lat trwała likwidacja komór i otworów na polu eksploatacyjnym, wypełnianie zapadlisk, wyrównywanie terenu, monitoring oraz rekultywacja powierzchni, która została zakończona w 2008 roku.

Historia eksploatacji solanki i likwidacji szkód górniczych w Łęzkowicach jest więc ostatecznie zakończona i zasługuje na podsumowanie. Zdobyte tu doświadczenia dotyczą złoża o zakłóconej budowie geologicznej, z dużą ilością skał płonnych, dla którego błędy projektowe i technologiczne oraz zbyt intensywna i długotrwała produkcja solanki objawiły się ze wszystkimi negatywnymi konsekwencjami.

## BUDOWA GEOLOGICZNA ZŁOŻA

Złoże Łęzkowice jest jednym ze złóż soli mioceńskich na Podkarpaciu. Leży pomiędzy Wieliczką i Bochnią na lewym brzegu Raby. Budowa geologiczna złoża była przedmiotem badań i publikacji od końca lat 50. ubiegłego wieku (Garlicki 1960, 1971).

W profilu litostratygraficznym złoża wyróżnia się kompleks utworów mioceńskiej formacji solonośnej składający się (w kolejności wiekowej) z:

- warstw skawińskich,
- serii solnej,
- warstw chodenickich.

Utwory te przykryte są osadami czwartorzędowymi, które stanowią aluwia Raby (żwiry, piaski, pospółki).

Seria solna składa się z warstw soli, iłowców i iłowców anhydrytowych. Warstwy solne w złożu są rozmieszczone nierównomiernie i mają miąższość od 2 do 20 m. Kompleks ten zalega na głębokości od 40 do 450 m (Garlicki 1971).

Obraz tektoniki wewnętrznej złoża jest bardzo skomplikowany. Złoże stanowi zespół fałdów i łusek tektonicznych zbudowanych z kompleksów solnych przedzielonych utworami płonnymi. Deformacje tektoniczne pojawiają się jako fałdy o dużej amplitudzie, przeszczenia mas solnych, nasunięcia i wyklinowania.

## EKSPLOATACJA ZŁOŻA

Eksploatację złoża zaprojektowano w przedziale głębokości od 120 do ok. 400 m (425 m). Zespół warstw nadkładu i serii solnej zalegający do 120 m głębokości określono jako półkę stropową. Otwory eksploatacyjne odwiercono w siatce trójkąta równobocznego o boku 35 m (Fig. 1). Komory ługownicze miały osiągać średnicę 25 m, tak więc, najmniejsza szerokość filarów międzykomorowych wynosić miała 10 m. Eksploatację projektowano na 8–10 lat.

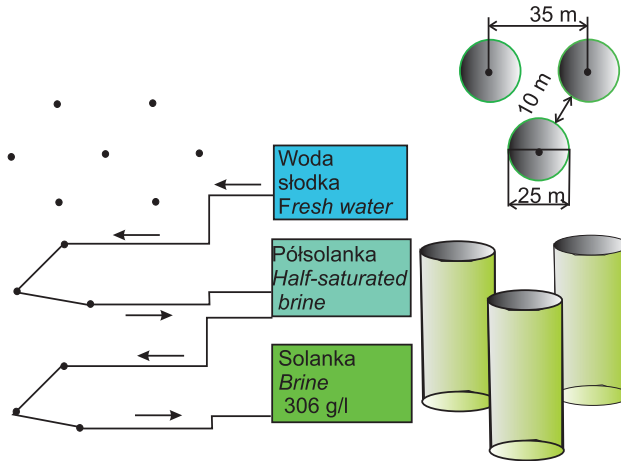


Fig. 1. Eksploatacja zespołem ługowniczym

Fig. 1. Exploitation by leaching cavern complex

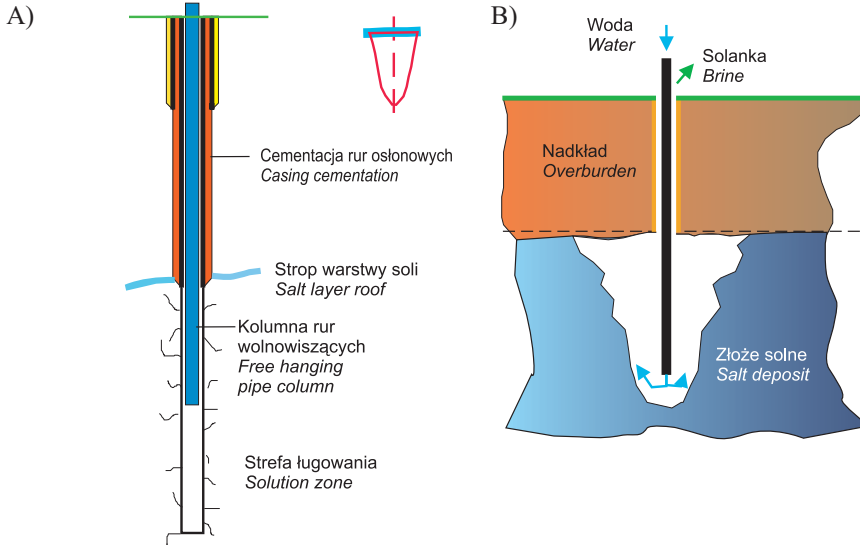
## ROBOTY UDOSTĘPNIAJĄCE I PRZYGOTOWAWCZE

Na złożu odwiercono, począwszy od 1967 r., 151 otworów eksploatacyjnych (na 160 planowanych), najpierw we wschodniej części złoża, potem w zachodniej; w ostatniej kolejności zostały wykonane otwory w części środkowej w latach 1978–1982.

Głębokość wierceń sięgała od 370 do 470 m, a ich początkowa średnica równa była 308 mm.

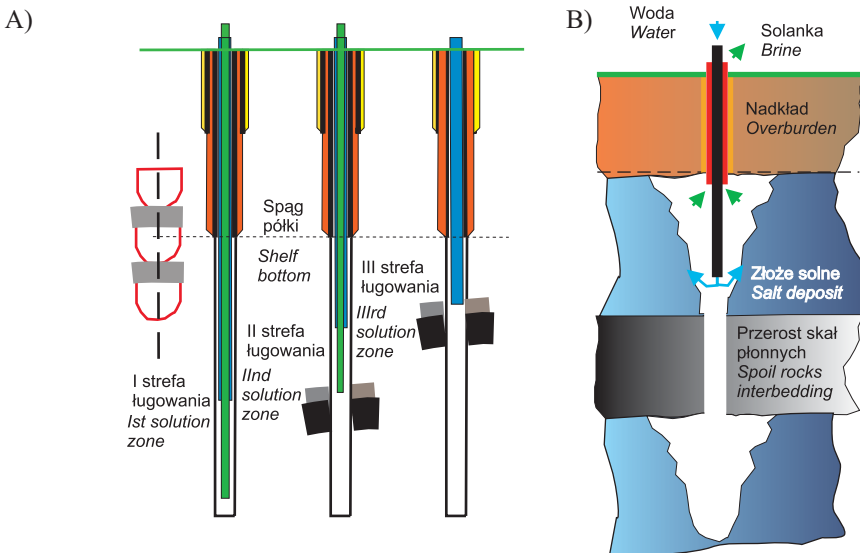
Otwory ługownicze zostały zabudowane i uzbrojone w trzech wariantach w następujący sposób (pomija się rury kierunkowe) (Szewczyk 1999):

- wariant I – kolumna rur eksploatacyjnych (5" lub 6 5/8") cementowanych do stropu najwyższej warstwy solnej + jedna kolumna rur wolnowiszących (Fig. 2),
- wariant II – kolumna rur okładzinowych (6 5/8") do głębokości 120 m (strop planowanej eksploatacji) cementowanych do powierzchni + dwie kolumny rur wolnowiszących (5" i 3 1/2") (Fig. 3),
- wariant III – kolumna rur okładzinowych (6 5/8") do głębokości 120 m (strop planowanej eksploatacji) cementowanych do powierzchni +
  - a) + kolumna rur eksploatacyjnych (5") cementowana odcinkami (w grubych przestawkach skał płonnych) a następnie odcinana + kolumna rur wolnowiszących (3 1/2") lub,
  - b) + kolumna rur eksploatacyjnych (5") cementowana na całej długości do powierzchni z perforacją na wysokości warstw solnych lub z odcinaniem w miarę postępującego w stropie podługowania (na 20–30 m) + kolumna rur wolnowiszących (3 1/2") (Fig. 4).



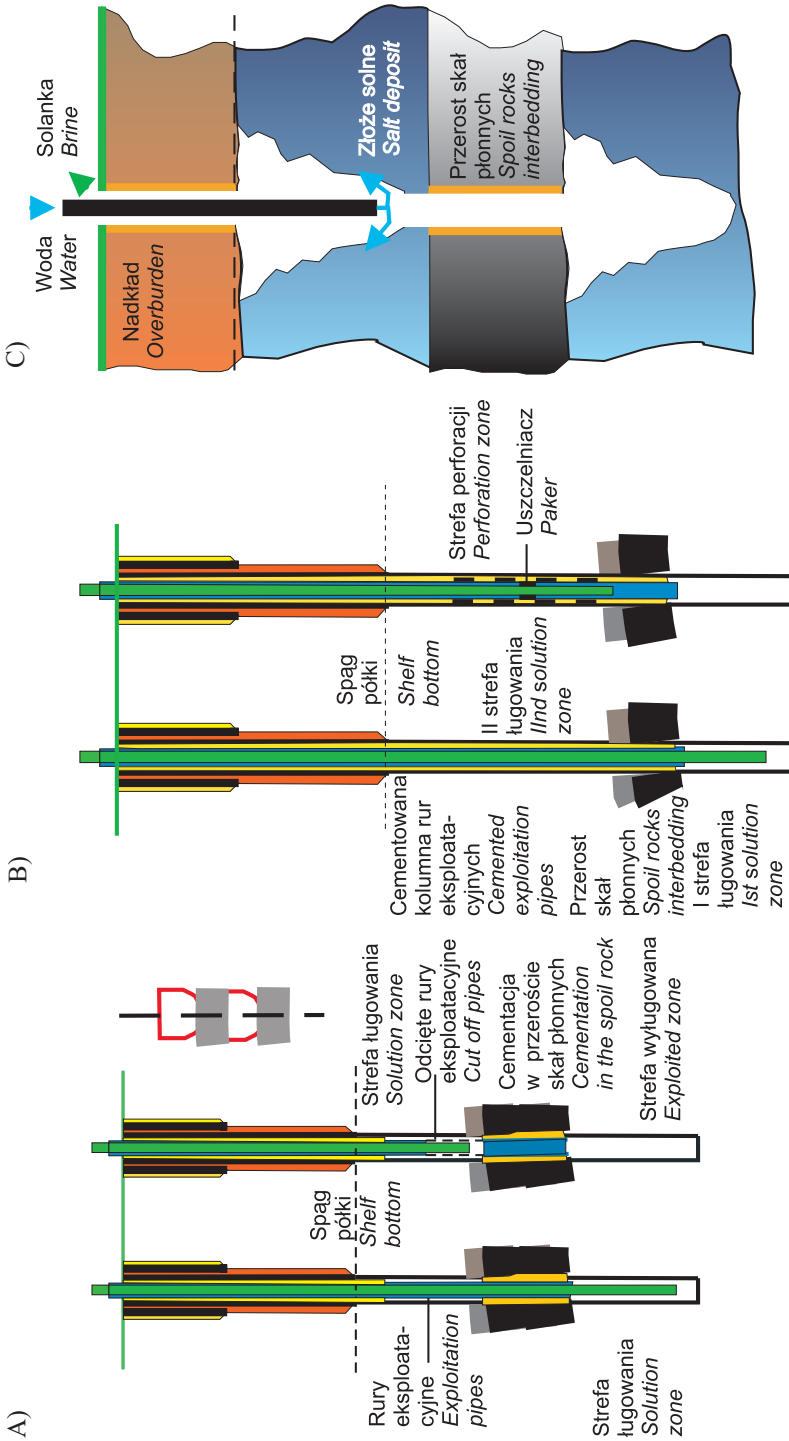
**Fig. 2.** Eksploatacja z jedną kolumną rur wolno wiszących – wariant I: A) zabudowa i uzbrojenie otworu ługowniczej; B) idealny schemat komory ługowniczej

**Fig. 2.** Exploitation with one free-hanging tubing string – I variant: A) borehole construction and completion; B) ideal scheme of the cavern



**Fig. 3.** Eksploatacja selektywna z dwiema kolumnami rur wolno wiszących – wariant II: A) zabudowa i uzbrojenie otworu ługowniczej; B) idealny schemat komory ługowniczej

**Fig. 3.** Selective exploitation with two free-hanging tubing string – II variant: A) borehole construction and completion; B) ideal scheme of the caverns



**Fig. 4.** Eksploatacja z jedną kolumną rur wolno wiszących – wariant III: A) ze strefowym cementowaniem i odcinaniem zewnętrznej kolumny eksploatacyjnej; B) z cementacją zewnętrznej kolumny eksploatacyjnej na całej długości i strefową perforacją; C) idealowy schemat komory ługowniczej

**Fig. 4.** Exploitation with one free-hanging tubing string – III variant: A) with the zonal cementation and cutting-off the external exploitation tubing; B) with the whole length external tubing cementation and zonal perforation; C) ideal scheme of the caverns

Początkowo otwory wykonano w dwóch rodzajach zabudowy i uzbrojenia (I i II). Z czasem, w miarę narastania trudności w uzyskiwaniu solanki w wymaganej ilości i o przemysłowym stężeniu, gdy dochodziło do utraty drożności i zaciskania rur eksploatacyjnych, próbowano ulepszyć technologię ługowania, stąd też sposoby zabudowy ulegały zmianie (III) (*Plan ruchu...* 2002).

## TECHNOLOGIA ŁUGOWANIA

Zaprojektowaną technologią była eksploatacja zespołami ługowniczymi, tzn. zespołami otworów połączonych na powierzchni (Fig. 1). W zespole ługowniczym do jednego otworu zatłaczana jest woda lub nienasycona solanka, która przepływając przez kolejne otwory ulega dosycaniu.

Solankę przemysłową o żądanym stężeniu ok. 304 g/l uzyskiwano w dwóch etapach:

1. Do zespołu ługowniczego utworzonego poprzez połączenie trzech otworów zatłaczano wodę słodką, otrzymując półsolankę, która gromadzona była w zbiorniku półsolanki.
2. Półsolankę kierowano do kolejnego zespołu ługowniczego aby uzyskać solankę przemysłową (Fig. 1).

Projektowano początkowo dwie technologie ługowania, odpowiadające dwóm pierwszym sposobom zabudowy i wyposażenia otworów (Köhsling 1989, *Plan ruchu...* 2002, Szewczyk *et al.* 2002).

Pierwszy typ zabudowy otworów z cementacją do stropu warstwy solnej przeznaczony był do części złoża, w których sól kamienna osiągała znaczne miąższości. Woda zatłaczana rurą eksploatacyjną wewnętrzną na dno otworu/komory odbierana była w postaci solanki zewnętrzną przestrzenią pomiędzy rurami eksploatacyjnymi (obieg prawy) lub odwrotnie (obieg lewy).

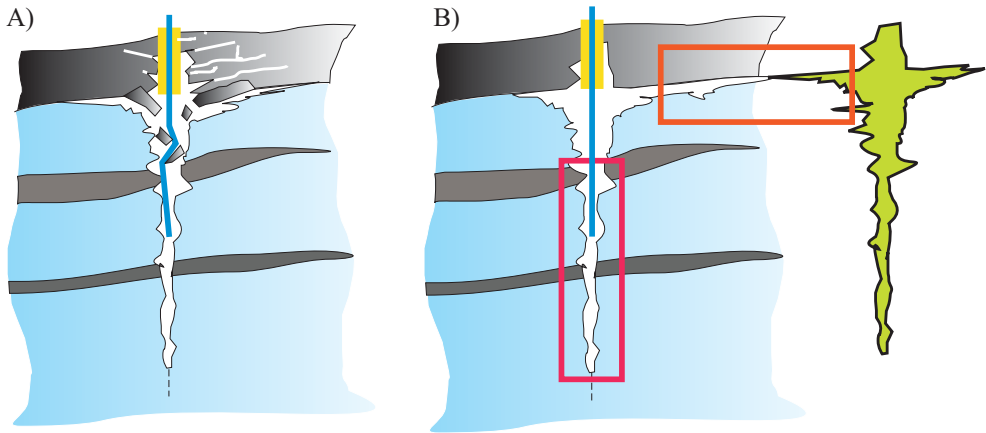
Drugi typ zabudowy – z rurami wolno wiszącymi – przeznaczony był do części złoża, w których występowały liczne pokłady soli z przewarstwieniami skał płonnych. Pozwalał na przemieszczanie rur w miarę narastania zasypu na dnie komory i uważano, że można w ten sposób „omijać” warstwy płonne podczas ługowania komór od najniższej warstwy solnej ku górze.

Kontrola eksploatacji polegała na pomiarze stężenia i wydatku solanki wytłaczanej z komór. Dopiero w drugiej połowie lat 70. zastosowano pomiary sonarowe echosondą do kontroli procesu eksploatacji (nie tylko kształtu i wymiarów komór, ale też np. kontroli zarurowania).

W obu technologiach nie zastosowano izolacji stropu (z przyczyn technicznych), w związku z czym problem jaki stwarza szybsze ługowanie stropowe w stosunku do boczno został pominięty i nie został w tych technologiach rozwiązany.

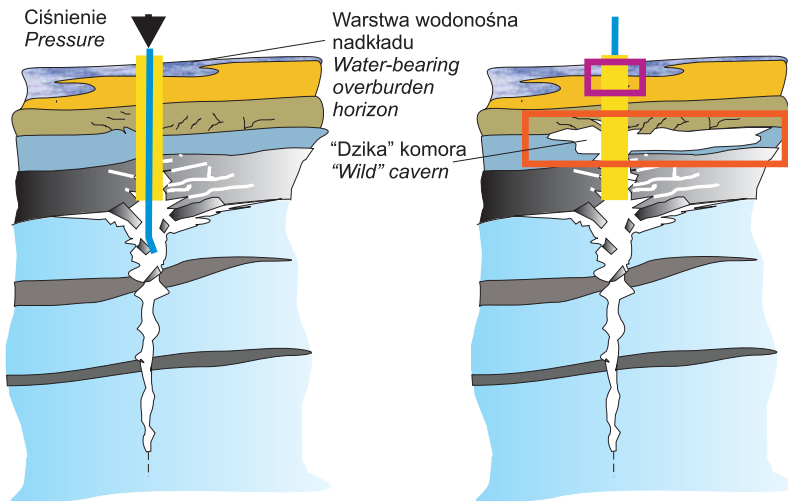
Wkrótce ujawniło się to w postaci (Köhsling 1989):

- powstawania komór „wąskich”, tzn. wysokich o małym promieniu;
- szerokiego rozługowywania się stropowych części komór;
- „ucieczki” stropu aż do warstw płonnych;
- tzw. „kominowania” na skutek rozmakania skał ilastych (Fig. 5, 6).



**Fig. 5.** Nieprawidłowy rozwój komór I: A) zahamowanie ługowania w dolnej części komory na skutek osadzania się materiału nierozpuszczalnego, nadmierne rozługowanie stropu prowadzące do „kominowania” i zawалу skał stropowych, niszczenie rur eksploatacyjnych; B) nadmierne rozługowanie stropu prowadzące do przecięcia filarów międzykomorowych i połączenia komór

**Fig. 5.** Incorrect cavern development I: A) stopping of the leaching in the lower part of the cavern due to the sedimentation of the insolubles, the overleaching in the upper part of the cavern leading to the roof failure and destruction of leaching tubing; B) overleaching of the pillars between adjoining caverns



**Fig. 6.** Nieprawidłowy rozwój komór II: „kominowanie” stropu do nadległej warstwy solnej, niekontrolowane ługowanie „dzikiej” komory, połączenie hydrauliczne z poziomem wodonośnym nadkładu i wodami powierzchniowymi

**Fig. 6.** Incorrect cavern development II: propagation of the roof failure into the overlying salt layer, uncontrolled “wild” cavern leaching, hydraulic connection with the water-bearing level in the overburden and with the surface water level

Komory „wąskie” szybko zapełniane były materiałem skalnym nierozpuszczalnym uwalniającym się podczas ługowania, co hamowało eksploatację, uniemożliwiało wybranie zasobów złoża objętych komorą, powodowało grzęźnięcie rur eksploatacyjnych itp.

Intensywne ługowanie stropowych części komór prowadziło do powstawania stropów o zbyt dużej powierzchni, skutkiem czego były zawały stropu oraz do przeługowań poprzez filary i połączeń z komorami sąsiednimi.

Kontakt solanki ze skałami płonnyymi (głównie iłowcami) odsłoniętymi przez nadmierne ługowanie stropowe powodował rozmakanie tych skał, odpadanie i zjawisko „kominowania” stropu komór wzdłuż otworu wiertniczego, które mogło się przenieść do warstw w tzw. półce stropowej.

Ponadto ujawniły się również niekorzystne zjawiska podczas ługowania w samej komorze: grube warstwy skał płonnych nie pozostawały jako „półki”, ale załamywały się i zasypywały komory, uszkadzając przy tym rury eksploatacyjne.

Technologie z cementacją odcinkami lub na całej długości zewnętrznej rury eksploatacyjnej miały zapobiec zarówno tym zjawiskom, jak i nadmiernemu ługowaniu stropowemu.

Technologia z cementacją na odcinkach przechodzących przez skały płonne miała zabezpieczać przed załamywaniem się ich do komory i ługowaniem złoża wzdłuż całego otworu. Połączona była z odcinaniem rury zacementowanej w warstwie solnej wyższej po wyługowaniu komory w warstwie solnej niższej. Był to więc w zamierzeniu rodzaj eksploatacji selektywnej. Jednakże i tu rozwijało się „kominowanie” komór dolnych do wyżej leżących warstw solnych poprzez warstwy płonne.

Technologia z cementacją na całej długości zewnętrznej rury eksploatacyjnej, powiązana z jej perforacją na odcinkach zacementowanych w warstwach solnych i osadzeniem pakera, była kolejnym wariantem eksploatacji selektywnej, mającym zapobiec niepożądanym zjawiskom. Próbowano ją stosować również w odmianie z perforacją rur w najniższej warstwie soli i ich ucinaniem w miarę rozługowania komory w stropie. Ta technologia tym bardziej nie zdała egzaminu ze względu na trudności technologiczne z wykonaniem perforacji, osadzeniem pakera, a także z uwagi na małe stężenia solanki i duże opory przepływu (Köhsling 1989). Współczynnik wykorzystania złoża przewidywany na 13% okazał się znacznie mniejszy: 4–5%.

Z powodu wymienionych trudności i utraty otworów zaczęto do zespołów ługowniczych włączać komory w różnych częściach pola eksploatacyjnego i znajdujące się na różnych głębokościach w złożu. Zastosowano także eksploatację otworami sprzężonymi, polegającą na zatłaczaniu wody jednym otworem i odbiorze solanki – drugim.

Ze względu na duże opory przepływu oraz konieczność produkowania solanki z wymaganą wydajnością (dochodzącą do 4000 m<sup>3</sup>/dobę) zaczęto stosować duże ciśnienia zatłaczania, które na głowicy dochodziły do 1.4–1.6 MPa, co doprowadziło do szczelinowania górotworu, połączenia praktycznie wszystkich komór w ich górnych częściach, rozszczelnienia cementacji w stropie komór, dalszego kominowania do warstwy solnej leżącej nad częścią pola eksploatacyjnego na głębokości ok. 100 m, niekontrolowanego ługowania w tej warstwie (potwierzonego badaniami sonarowymi) prowadzącego do powstania rozległych płaskich „dzikich” komór i utworzenia połączeń hydraulicznych z poziomami wodonośnymi w nadkładzie oraz z wodami powierzchniowymi (Fig. 6) (Szewczyk 1999, *Plan ruchu...* 2002, Szewczyk *et al.* 2002).



Po kilkunastu latach od rozpoczęcia eksploatacji okazało się, że faktycznie nie jest możliwe wyłaczanie solanki otworami na powierzchnię, gdyż przyłożenie ciśnienia do otworów eksploatacyjnych powoduje odpływanie solanki do warstw wodonośnych, powstawanie wypływów solanki na powierzchni i zasolenie Raby. Na powierzchni zaczęły powstawać poważne zniszczenia (Garlicki 1993).

W roku 1980 w obliczu tych zjawisk zrewidowano technologię eksploatacji (*Plan ruchu...* 2002):

- powrócono do technologii ługowania dwiema kolumnami rur wolnowiszących (II) i odwiercono dla tej technologii kolejne otwory (30 szt.);
- podjęto decyzję o reeksploatacji w nowej technologii 40 otworów połączonych;
- zdecydowano, że komory zostaną podsadzone.

Nowa, wprowadzona do eksploatacji technologia polegała na odstąpieniu z konieczności od dotychczasowej technologii (ze względu na niemożność wytworzenia ciśnienia w złożu) i przejściu na szczypanie solanki z pola otworowego poprzez otwór pompowy (pompa głębinowa lub podnośnik powietrzny) wraz z podawaniem wody lub półsolanki do innego otworu w polu. Technologia ta miała zapobiegać wytwarzaniu ciśnienia w złożu i wytwarzać depresję w kierunku otworu pompowego. Została nazwana eksploatacją tunelową, którą należy rozumieć jako odmianę ługowania otworami sprzężonymi (bezfilarowo), z tym że solanka nie jest wyłaczana, a pompowana (Fig. 7).

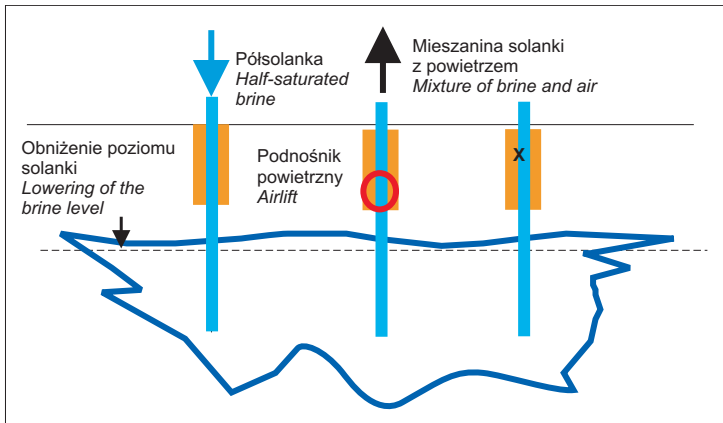


Fig. 7. Schemat ideowy eksploatacji bezfilarowej „bezcisnieniowej”

Fig. 7. Ideal scheme of cavern leaching without pillars and without pressure

Wzorem dla tej technologii była stosowana już na złożu technologia podsadzania, polegająca na wprowadzaniu materiału podsadzkowego z jednoczesnym odbiorem solanki.

Eksploatacja tunelowa okazała się bardzo szkodliwa. Odwrócenie kierunku przepływu w szczelinach krasowych w półce nad polem eksploatacyjnym i w górnych częściach komór oraz ich stały drenaż spowodowały dalszy niekontrolowany rozrost pustek podziemnych (Kłeczek 1994, Szewczyk 1999, Szewczyk *et al.* 2002). Objawiło się to poważnymi deformacjami powierzchni.

## PROBLEM NIEPRAWIDŁOWEGO ROZWOJU KOMÓR Z POWODU BUDOWY GEOLOGICZNEJ ZŁOŻA

Nieprawidłowy rozwój komór podczas ługowania był skutkiem nie tylko czynników technologicznych, ale skomplikowanej budowy geologicznej złoża. Ługowanie utrudnione było zmiennością litologiczną złoża, zmiennymi i często stromymi upadami warstw oraz dużą ilością skał płonnych.

W szczególności nierównomierny rozwój komór spowodowany był:

- obecnością licznych przerostów skał płonnych, zwykle o kilkumetrowej miąższości i zmiennym, często stromym upadzie, ulegających obrywom i rozmakających podczas ługowania;
- obecnością przewarstwień soli czystych, łatwo rozpuszczalnych, które ulegały szybkiemu ługowaniu, skutkiem czego powstawały połączenia między komorami.

Zjawiska te przedstawił A. Garlicki na przekroju geologicznym przez złożo Łężkowice (Garlicki 1993).

### LIKWIDACJA

Kopalnia została postawiona w stan likwidacji z początkiem 1988 r., przy czym likwidacja miała odbyć się poprzez podsadzenie pustek w złożu stwarzających zagrożenie dla powierzchni. Wielkość podziemnych pustek szacowano na 3.5 mln m<sup>3</sup>. Likwidacja stała się koniecznością wobec zniszczeń na powierzchni, na której powstały liczne zapadliska (Garlicki 1993).

Likwidacja skutków eksploatacji objęła (Szewczyk 1999, Szewczyk *et al.* 2002):

- podsadzenie pustek poeksploatacyjnych,
- wypełnienie zapadlisk i obniżeń na powierzchni,
- likwidację otworów eksploatacyjnych i podsadzkowych,
- rekultywację terenu.

Likwidacja przez podsadzanie trwała z przerwami kilkanaście lat. Jako materiału podsadzkowego użyto: materiału skalnego z kopalni „Siedlec-Moszczenica”, piasku, żwiru, gruntu, ale także wypróbowywano inne składniki podsadzki, takie jak żużle wielkopiecowe czy popioły lotne.

Materiał wprowadzano do komór poprzez specjalnie odwiercane otwory wielkośrednicowe, otwory eksploatacyjne i otwory skośne wiercone z miejsc bezpiecznych na powierzchni, tzn. znajdujących się poza zasięgiem komór (Kłeczek 1994, Biel *et al.* 1995, *Plan ruchu...* 2002).

Łącznie prace związane z podsadzaniem wyrobisk i likwidacją skutków eksploatacji pochłonęły do końca 2004 r. ponad 1.8 mln m<sup>3</sup> materiału podsadzkowego, z czego około 1.1 mln m<sup>3</sup> zostało umieszczone w pustkach podziemnych.

Prace likwidacyjne zakończono całkowitym zrekultywowaniem pola ługowniczego (Fig. 8).



**Fig. 8.** Zrekultywowana powierzchnia pola otworowego, jesień 2008 r.

**Fig. 8.** Recultivated surface of the well field, autumn 2008

## PODSUMOWANIE

Na niepowodzenia eksploatacji złoża Łęzkowice złożyło się kilka czynników:

- niekorzystna budowa geologiczna złoża: nieregularność zalegania, nierównomierne rozmieszczenie soli, duża ilość skał płonnych;
- niewystarczająco wykorzystane rozpoznanie warunków geologiczno-górnich w złożu;
- błędy projektowe: nieprawidłowe wyznaczenie półki stropowej nad kopalnią (w skałach nadkładu), wykonanie otworów eksploatacyjnych w regularnej siatce, bez dostosowania do lokalnego rozpoznania warunków geologiczno-górnich, przyjęcie błędnych technologii eksploatacji, zabudowy i uzbrojenia otworów.

Następstwami tego były niekorzystne decyzje odnośnie do technologii eksploatacji, dotyczące ciśnienia zatłaczania mediów do złoża, eksploatacji tunelowej i in. Decyzje te, często dyktowane koniecznością, podejmowane były w obliczu wymagań produkcyjnych stawianych kopalni, które doprowadziły do zbyt długiego i nadmiernego wyeksploatowania złoża.

Obecnie, po trwającej 20 lat eksploatacji, a następnie dwudziestoletniej likwidacji kopalni, obszar górniczy został całkowicie i z pełnym sukcesem zrewaloryzowany, a historia eksploatacji w kopalni „Łęzkowice” – ostatecznie zakończona. Uzyskane tu doświadczenia, tak pozytywne, jak i negatywne stanowią cenny wkład w wiedzę dotyczącą ługowniczego górnictwa solnego oraz rewitalizacji terenów górniczych.

*Autorka składa serdeczne podziękowanie Kierownictwu Kopalni Soli „Bochnia” za udostępnienie informacji i materiałów archiwalnych oraz poświęcenie czasu na dyskusję i towarzyszącą temu życzliwość, bez których praca ta nie mogłaby powstać.*

*Praca powstała w ramach badań statutowych Akademii Górniczo-Hutniczej nr 11.11.100.27.*

## LITERATURA

- Biel A., Bieniasz J., Gołda J., Jędrzejewski T. & Wojnar W., 1995. *Określenie ilości, rozmieszczenia i sposobu wykonania dodatkowych otworów wiertniczych, projekt geologiczno-techniczny otworów*. Mat. Arch. P.P. Kopalni Soli „Bochnia”, OBRGSCHEM „Chemkop”, Kraków.
- Garlicki A., 1960. Złoże soli kamiennej Łęzkowice-Siedlec w zatoce gdowskiej. *Przegląd Geologiczny*, 8, 1, 43–45.
- Garlicki A., 1971. Złoże soli kamiennej w Łęzkowicach nad Rabą. *Kwartalnik Geologiczny*, 15, 4, 930–946.
- Garlicki A., 1993. Solution Mining of Miocene Salts in Poland and its Environmental Impact. *Seventh Symposium on Salt*, Vol. 1, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, 419–424.
- Kłeczek Z. (przew. zesp.), 1994. *Propozycja sposobu likwidacji Otworowej Kopalni Soli „Łęzkowice” z uwzględnieniem minimalizacji istniejących zagrożeń dla środowiska*. Mat. Arch. P.P. Kopalnia Soli „Bochnia”, AGH Kraków.
- Köhsling J., 1989. Wykorzystanie specjalnych metod w otworowej eksploatacji soli. *Zeszyty Naukowe Akademii Górniczo-Hutniczej, Górnictwo*, 148, 201–212.
- Plan ruchu likwidowanego zakładu górniczego na lata 2002–2004. Część szczegółowa. Kopalnia Soli „Bochnia” P.P. Otworowa Kopalnia Soli „Łęzkowice”*. Mat. Arch. P.P. Kopalnia Soli „Bochnia”.
- Szewczyk A. (red.), 1999. *Projekt techniczny likwidacji OKS „Łęzkowice”*. Mat. Arch. P.P. Kopalnia Soli „Bochnia”.
- Szewczyk A., Józefko L. & Bezkorowajny A., 2002. *Projekt techniczny likwidacji OKS „Łęzkowice” na lata 2002–2004*. Mat. Arch. P.P. Kopalnia Soli „Bochnia”.

## Summary

The Łęzkowice rock salt deposit is one of the several Miocene salt deposits in the Sub-Carpathian region. It occurs on Raba about 30 km east of Kraków. The geology of the Łęzkowice deposit is very complicated. The salt series consists of rock salt layers, claystones and claystones with anhydrite. This complex is strongly distorted by folding and overlapping.

The deposit was exploited by solution mining from the surface at the depth 120–400 (425) m. During the exploitation 151 boreholes were drilled with the 35 m equal-sided triangle spacing on the mine field (Fig. 1). The projected diameters of caverns were 25 m. The brine of requested saturation was obtained by leaching in several cavern complex (Fig. 1).

During the first decade of exploitation two methods of borehole construction and completion were applied:

- variant I – exploitation with one free-hanging tubing string (Fig. 2),
- variant II – selective exploitation with two free-hanging tubing strings (Fig. 3).

In both methods caverns roof was not protected against the overleaching. As a result the incorrect cavern development and well destruction took place. The disadvantageous processes during cavern leaching were: stopping of the leaching in the lower parts of caverns due to the sedimentation of the insolubles, the overleaching in the upper parts of the cavern leading to the roof failure and destruction of leaching tubing strings, overleaching of the pillars between adjoining caverns (Figs 4, 5).

In order to protect caverns against roof and spoil rock failures third method (variant III) of well construction, completion and cavern leaching was developed: exploitation with one free-hanging tubing string with partial or total (on the whole length) cementation of external tubing string. In this method as well as in previous ones the leaching medium was pumped into the cavern with high pressure to overcome the flow resistance. As a result the propagation of the roof failure into the overlying salt layer developed, uncontrolled "wild" caverns were leached and hydraulic connection between caverns and water-bearing level in the overburden and the surface waters were created (Fig. 6). It appeared soon, that cavern pressurization was impossible, because of increasing salinity of surface waters and ground. The next method was brine production in the multi-well system without any pressurization (Fig. 7). Since then, leaching process became uncontrolled and very destructive: on the surface the deep subsidence troughs of great extension and numerous sinkholes developed. During the exploitation and many years after the mine closure the great attempts were carried out to limit the surface damages by salt caverns backfilling. The process of backfilling, leveling of surface damages and mining area recultivation finished in 2008 (Fig. 8).