



# Wybrane zagadnienia z zagospodarowania i utylizacji odpadów poeksploatacyjnych pochodzących z górnictwa i przeróbki soli kamiennej

Wacław ANDRUSIKIEWICZ<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> dr hab. inż., prof. AGH; AGH University of Science and Technology (Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie)

<http://doi.org/10.29227/IM-2020-02-54>

Submission date: 03-11-2020 | Review date: 21-12-2020

## Abstrakt

*W artykule przedstawiono możliwość gospodarczego wykorzystania odpadów powstałych w trakcie eksploatacji złoża solnego oraz zagospodarowania słonych wód dołowych na przykładzie procesu warzenia soli. Przedstawiono w ogólnym zarysie procesy technologiczne warzelnia soli, które generują znane jakościowo odpady. Wskazano możliwość dalszego ich zagospodarowania, względnie sposoby ich utylizacji.*

**Słowa kluczowe:** utylizacja odpadów solnych, warzelnia soli, sucha eksploatacja soli

## Wstęp

Górnictwo solne w Polsce ma blisko tysiącletnią historię. Najstarsze kopalnie – Bochnia i Wieliczka – są dziś obiektami muzealnymi. Obecnie jedyną czynną kopalnią soli jest Kopalnia Soli „Kłodawa”, natomiast kolejnym miejscem, gdzie sól jest wydobywana jako kopalina towarzysząca jest kopalnia ZG „Polkowice-Sieroszowice” wchodząca w skład KGHM „Polska Miedź” S.A. Obie wspomniane kopalnie prowadzą tzw. eksploatację suchą. Prócz nich sól pozyskują Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino” (wchodzące w skład PKN „Orlen”) w postaci solanki – jest to tzw. eksploatacja otworowa mokra. Pozyskana solanka jest przekazywana do odbiorców w celu dalszej jej obróbki. W jej wyniku otrzymuje się m.in. sól warzoną, chlor, wodór. Przeróbka solanki powinna odbywać się w oparciu o najlepsze dostępne techniki BAT (Best Available Techniques) [Najlepsze... 2005].

## Eksploatacja metodą suchą

Eksploatacja soli kamiennej metodą suchą prowadzona jest w dwóch kopalniach, lecz w diametralnie różny sposób. Kopalnia Soli „Kłodawa” S.A. prowadzi górnicze roboty eksploatacyjne z wykorzystaniem techniki strzelniczej, natomiast ZG „Polkowice-Sieroszowice” pozyskuje sól metodą mechaniczną z wykorzystaniem kombajnów chodnikowych. Obie kopalnie wydobyły w 2019a r. łącznie 873 tys. Mg NaCl, co stanowi ok. 21,5% wydobycia krajowego [Bilans... 2020].

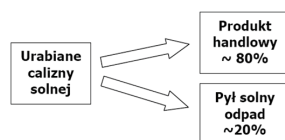
Istotne różnice w technologii urabiania górotworu solnego bardzo wyraźnie przekładają się na frakcje uzyskiwanego urobku. Zdecydowanie grubszy sortyment uzyskuje się wskutek urabiania skał solnych za pomocą materiałów wybuchowych. W przypadku stosowania kombajnów uzyskiwany wychód jest skutkiem skrawania skał, tak więc urobek stanowią głównie frakcje o mniejszym uziarnieniu. W obu przypadkach uzyskuje się frakcję pyłową, czyli ziarna poniżej 1 mm, która na etapie urabiania nie jest frakcją pożądaną. Jednak w przypadku pierwszym (urabianie techniką strzelniczą) frakcja ta nie przekracza kilku procent urobku, nato-

miast w przypadku urabiania mechanicznego frakcja pyłowa stanowi około 20% pozyskanej soli (Andrusikiewicz 2012).

Problem pyłów solnych w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. jest w pełni rozwiązany na etapie przeróbki soli, która polega na przesiewaniu urobku i rozsortowaniu na poszczególne frakcje. Wychód ilościowy poszczególnych frakcji jest regulowany w procesie mielenia kruchów solnych (nadawy) pod kątem ich przyszłego wykorzystania. Kopalnia we własnym zakresie wykorzystuje najdrobniejsze frakcje urobku do produkcji soli spożywczej bądź tzw. galanterii solnej w postaci dodatków paszowych bądź lizawek dla zwierząt. W związku z tym można uznać, że frakcja pyłowa uzyskana w wyniku robót eksploatacyjnych nie stanowi problemu i jest w całości zagospodarowana.

ZG „Polkowice-Sieroszowice” jest kopalnią rud miedzi, natomiast sól kamienna jest kopalnią towarzyszącą. Od ponad 20 lat w złożu soli prowadzone są roboty górnicze, których efektem jest wydobycie soli kamiennej. Przyjęta technologia urabiania górotworu solnego (kombajny górnicze) powoduje, że w wyniku ich prowadzenia powstaje frakcja pyłowa, która stanowi do 20% całości wydobycia. O ile z zagospodarowaniem grubszych frakcji nie ma większych problemów, gdyż jest to produkt handlowy (np. sól drogową), to frakcja pyłowa stanowi w chwili obecnej odpad – rys. 1. Pył solny zagospodarowany poprzez wypełnianie nim nieczynnych wyrobisk solnych.

Z technicznego punktu widzenia sam proces przetransportowania pyłu solnego do nieczynnych wyrobisk nie stanowi dziś większego problemu, natomiast ma to swoją drugą stronę – stronę ekonomiczną. Udział frakcji poniżej 1 mm jest dość znaczący w całej masie pozyskiwanej soli, w istotny sposób podnosi koszt wydobycia, a także znacząco obniża ilość pozyskanego surowca handlowego. Jak widać, zagospodarowanie odpadowego pyłu solnego od strony technicznej w warunkach dołowych nie stanowi problemu, ale istnieje też inna możliwość jego zagospodarowania, która jednak wymaga pewnych inwestycji dołowych w postaci odpowiedniej instalacji, oraz na powierzchni – budowy warzelnia soli.



Rys. 1. Podział urobku solnego pozyskiwanego w sposób mechaniczny  
Fig. 1. Division of the saline excavated material

Potencjalnym rozwiązaniem jest wykorzystanie pyłu solnego do produkcji solanki, czy to na bazie wody słodkiej, czy słonych wód dołowych (solanka nienasycona) występujących w kopalni. Potencjał tkwi w ilości słonych wód dołowych – ok. 2 mln m<sup>3</sup>/rok, których nasycenie oscyluje wokół 50% (ok. 150-160 kg NaCl/m<sup>3</sup>).

Nasycenie solanki, aby mogła być wykorzystana jako surowiec dla warzelni soli, musi wynieść min. 308 kg/m<sup>3</sup> roztworu. Przy zastosowaniu odpowiednich procesów technologicznych istnieje możliwość uzyskania solanki o wymaganym stopniu zateżenia w wyrobiskach podziemnych, w obrębie złoża soli. Pozwoli to na niemal całkowite zagospodarowanie frakcji pyłowej urobionej soli. W celu uzyskania 1 m<sup>3</sup> solanki pełnonasyconej na bazie tych wód możliwe będzie wykorzystanie ok. 150-160 kg pyłu solnego.

Aktualna polityka wydobywca KGHM Polska Miedź S.A. idzie w kierunku ograniczenia wydobycia soli kamiennej. Z planowanego kilka lat temu wydobycia ok. 1 mln Mg NaCl/rok aktualne wydobycie oscyluje wokół wielkości 300 tys. Mg NaCl/rok. W tej sytuacji rozwiązanie związane z wykorzystaniem pyłów solnych do produkcji solanki może być nieuzasadnione ekonomicznie.

### Eksploracja metodą mokrą

Eksploracja soli kamiennej metodą mokrą jest aktualnie realizowana przez Inowrocławskie Kopalnie Soli „Solino” S.A. w Inowrocławiu, a dokładniej rzecz biorąc w Kopalni Soli Mogilno i Kopalni Soli i Podziemnym Magazynie Ropy i Paliw Góra. Są to kopalnie zlokalizowane na wysadach solnych i prowadzące eksploatację otworową. Polega ona na zatłaczaniu do złoża wody słodkiej, która rozpuszcza skały solne, w wyniku czego powstaje solanka. Ta z kolei jest wypompowywana na powierzchnię i w zależności od stopnia nasycenia kierowana jest do kolejnego otworu, a w przypadku pełnego nasycenia – do odbiorcy, jako produkt finalny. Głównymi odbiorcami solanki są zakłady chemiczne z Grupy Ciech S.A. w Inowrocławiu i Janikowie, oraz grupy Orlen S.A. we Włocławku.

W 2019 r. IKS „Solino” pozyskały metodą mokrą 2,819 mln Mg NaCl, co stanowi 69,4% wydobycia krajowego [Bilans... 2020].

### Powstawanie odpadów w procesie warzenia soli

Uzyskana solanka może stanowić doskonałe zaplecze surowcowe dla warzelni soli. Ogólnie rzecz ujmując, po odparowaniu wody można uzyskać czystą sól, czyli NaCl. Jednak wytworzona solanka jest tzw. solanką surową, wymagającą szeregu procesów przygotowawczych (oczyszczenia), które umożliwią wytrącenie z niej związków niepożądanych w procesie ważenia soli. To z kolei wskazuje na powstanie związków, będących odpadami procesu oczyszczania.

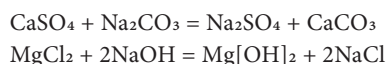
Również sam proces warzenia nie jest wolny od odpadów – w jego trakcie powstaje szereg ścieków technologicznych. W ogólnym zarysie miejsca powstawania tych odpadów

przedstawiono na rys. 2.

### Oczyszczanie solanki

Każda solanka surowa zawiera w swoim składzie związki wapnia i magnezu, które w procesie warzenia soli są związkami niepożądanymi – powodują „zarastanie” instalacji i aparatów procesowych.

Proces oczyszczania polega na wytrąceniu z solanki zanieczyszczeń w postaci związków wapnia i magnezu [Iwański et al. 2017]. W oczyszczalni solanka podawana jest do dozatora, gdzie równolegle podawany jest odpowiednio dozowany roztwór solankowy sodu amoniakalnej Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> oraz sodu kaustycznej NaOH (tzw. mikstury). Zużycie mikstury uzależnione jest od zawartości wapnia i magnezu w solance surowej. Z dozatora solanka i mikstura kierowane są do mieszalnika, gdzie następuje ich dokładne wymieszanie. Następnie media te spływają do reaktora, w którym zachodzą następujące reakcje:



Solanka po przejściu przez reaktor rozprowadzana jest do klarownic, gdzie osadzają się szlamy poreakcyjne, w tym nierozpuszczalne związki wapnia i magnezu. Szlamy te mają następujące parametry fizyko-chemiczne:

- gęstość ~1250 kg/m<sup>3</sup>;
- skład chemiczny (średnio)

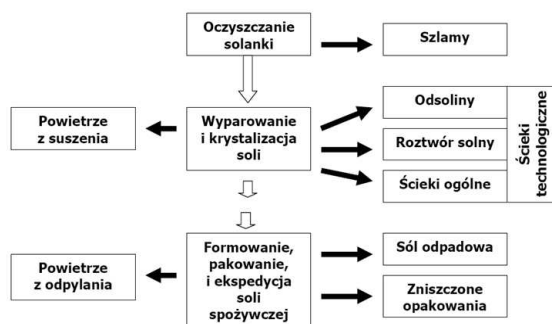
CaCO<sub>3</sub> – 7,3 %,  
Mg(OH)<sub>2</sub> – 5,0 %,  
NaCl – 22 %,  
H<sub>2</sub>O – 65,7 %.

Faza stała, wydzielona z roztworu, znajduje zastosowanie jako wapno nawozowe, wzbogacone z magnez.

Oprócz wapnia i magnezu w solance mogą pojawić się inne zanieczyszczenia mineralne, których obecność stwierdzono we frakcji pylastej soli. Mogą to być następujące minerały: anhydryt, gips, bassanit, kwarc (detrytyczny i autogeniczny), dolomit, tlenki żelaza, skałen potasowy, plagioklaz, glaukonit, fosforan oraz cała grupa minerałów ilastych (chloryt, illit, kaolinit, montmorillonit, smektyt, talk, wermikulit oraz minerały mieszanopakietowe: chloryt pęczniejący, chloryt – smektyt, illit – smektyt, kaolinit – smektyt oraz rektoryt). W procesie warzenia soli zanieczyszczenia te nie wpływają na przebieg procesu, a także nie przechodzą do produktu (sól warzona). Zanieczyszczenia mineralne pozostają w ściekach technologicznych powstających na etapie wyparowania i krystalizacji soli.

### Proces wyparowania i krystalizacji soli

Pozbawiona zanieczyszczeń mineralnych solanka jest podgrzewana, a następnie kierowana aparatów wyparowych.



Rys. 2. Powstawanie odpadów w procesie warzenia soli oraz jej przygotowania do sprzedaży  
Fig. 2. Waste formation in the salt brewing process and its preparation for sale

Proces warzenia soli polega, najogólniej rzecz ujmując, na odparowaniu wody i krystalizacji soli. Na tym etapie powstają ścieki technologiczne, na które składają się: odsoliny, roztwór solny oraz ścieki ogólne. Poniżej przedstawiono przybliżone parametry fizyko-chemiczne każdego z trzech rodzajów odpadów (ścieków):

1. odsoliny
  - gęstość: 1280 kg/m<sup>3</sup>;
  - skład chemiczny:  
NaCl – 20 %,  
Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> – 8 %,  
H<sub>2</sub>O – 72 %.
2. roztwór solny
  - gęstość: 1050 kg/m<sup>3</sup>
  - skład chemiczny:  
NaCl – 10 %,  
H<sub>2</sub>O – 90 %.
3. ścieki ogólne
  - gęstość: 1020 kg/m<sup>3</sup>;
  - skład chemiczny:  
NaCl – 5 %,  
H<sub>2</sub>O – 95 %.

Odpady z warzelni kieruje się do stawów osadowych. Woda nadosadowa – o ile spełnia odpowiednie parametry – może być zrzucana do cieków powierzchniowych, natomiast osad kierowany jest na składowiska odpadów. Należy zaznaczyć, że nie każde składowisko takie odpady przyjmuje, w związku z czym zachodzi konieczność opracowania bezpiecznej metody składowania tego typu odpadów. Wydaje się, że możliwości takie mogą stwarzać nieczynne kawerny solne lub podziemne składowiska odpadów w kopalniach soli [por. Andrusikiewicz 2016; Andrusikiewicz, Wrzosek, Zelijas 2019].

Na etapie wyparowania i krystalizacji soli uzyskuje się znaczące ilości wody zdemineralizowanej, którą jednak trudno uznać za odpad – jest raczej produktem ubocznym procesu [Andrusikiewicz, Tora 2012]. Zagospodarowanie jej jest odrębnym zagadnieniem.

### Formowanie i pakowanie soli

Jednym z kierunków wykorzystania soli warzonej jest produkcja soli tabletkowanej stosowanej m. in. do regeneracji wymienników jonitowych (zmiękczacze wody). Sól stosowa-

na do produkcji tabletek solnych wytwarzana jest zgodnie z:

- PN-EN ISO 9001: 2015-10 – Systemy zarządzania jakością. Wymagania;
- PN-EN ISO 14001: 2015-09 – Systemy zarządzania środowiskowego. Wymagania i wytyczne stosowania;
- wymaganiami HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point System – System Analizy Zagrożeń i Krytycznych Punktów Kontroli);
- Atestem Higienicznym PZH wystawiony przez Narodowy Instytut Zdrowia Publicznego – Państwowy Zakład Higieny (NIZP-PZH).
- Tabletki solne do zmiękczaczy wody są zgodne z normami:
- PN-EN 973:2009 – Chemikalia do uzdatniania wody przeznaczonej do spożycia. Chlorek sodu do regeneracji jonitów;
- PN-EN 14805:2008 – Chemikalia do uzdatniania wody przeznaczonej do spożycia. Chlorek sodu do elektrochemicznego wytwarzania chloru;

Charakterystyka fizykochemiczna tabletek:

- NaCl – min. 99,9 %;
- Ca – max. 50 ppm;
- H<sub>2</sub>O – max. 0,1 %;
- K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> – max. 3 mg/kg;
- średnica – ok. 25 mm lub 22 mm +/- 0,2 mm;
- grubość – ok. 14 mm lub 14,4 mm +/- 1 mm;
- masa – ok. 12 g lub 9 g +/- 1 g.

Technologia produkcji tabletek solnych w swoim zamierzeniu jest całkowicie bezodpadowa. Jednak stwierdzenie to nie do końca jest prawdziwe. W tym procesie można spodziewać się cyklicznie nieznacznej ilości ścieków pochodzących z mycia maszyny (tabletkarki), które usuwane są razem ze ściekami technologicznymi. Jednak w ogólnej ilości produkowanych ścieków są to ilości pomijalne, które nie wpływają na jakość ścieków.

Sporadycznie można spodziewać się także śladowej ilości odpadów stałych w postaci niepełnowartościowych tabletek, tzn. takich, które nie spełniają kryteriów handlowych. Są to tabletki, które nie w pełni zostały uformowane, najczęściej przy rozruchu tabletkarki lub na skutek uszkodzenia stempla w maszynie. Ilość tego typu odpadów nie będzie przekraczała kilku, kilkunastu kilogramów w skali roku, w związku z czym śmiało może być utylizowana z innymi odpadami technologicznymi.

Potencjalnym problemem, choć równie marginalnym, są odpady powstałe ze zniszczonych/uszkodzonych opakowań, np. big-bagów. Odpady te są utylizowane wg standardowych procedur, czyli po prostu są wywożone na składowisko odpadów bądź zagospodarowywane w inny sposób.

#### Podsumowanie

Kopanie soli mogą wydobywać sól kamienną praktycznie bezodpadowo, pod warunkiem zastosowania odpowiedniej technologii jej pozyskiwania. Dopiero przetwórstwo soli, jak np. przedstawiono powyżej na przykładzie warzelnicy soli, generuje odpady, których zagospodarowanie czy utylizacja może stwarzać określone problemy. Jednak zaprezentowaną propozycję zagospodarowania słonych wód dołowych oraz pyłów solnych można uznać za działanie proekologiczne i uzasad-

nione ekonomicznie, pod warunkiem, zapewnienia odpowiedniej ilości pyłów solnych lub uzupełnienia ich braków bieżącym wydobyciem soli. Mimo iż w procesie warzenia soli powstają szlamy solne oraz zasolone ścieki technologiczne, ich ilość oraz zawartość ładunku chemicznego jest zdecydowanie mniejsza, niż ilość i jakość zasolonych wód dołowych wypompowywanych na powierzchnię. Przykładowo, produkcja 100 tys. Mg soli warzonej umożliwia zagospodarowanie ok. 330 tys. m<sup>3</sup> słonych wód dołowych o nasyceniu ok. 50% oraz ok. 50 tys. Mg pyłu solnego. Efektem ubocznym, poza wymienionymi wyżej odpadami, będzie ok. 250 tys. m<sup>3</sup> wody zdeminalizowanej, którą można wykorzystać przemysłowo (zakład ciepłowniczy, zakład przeróbki rud itp.), a w ostateczności odprowadzić do cieków powierzchniowych.

#### Literatura – References

1. Andrusikiewicz W.; 2012: Utylizacja odpadów z produkcji soli, [w:] Waste Recycling XVI - Recyklace Odpadu, Ostrava.
2. Andrusikiewicz W.; 2016: Możliwość wykorzystania gipsów syntetycznych w likwidacji kawern solnych, Journal of the Polish Mineral Engineering Society, r. 17, nr 1.
3. Andrusikiewicz W., Tora B.; 2012: Nowe rozwiązania technologiczne w procesach pozyskiwania soli warzonej. International Conference of Nonferrous Ore Processing, Trzebiezowice.
4. Andrusikiewicz W. Wrzosek J., Zeljaś D.; 2019: Możliwość budowy podziemnego składowiska odpadów w obszarze górniczym „Bądzów”, XXIV międzynarodowe sympozjum solne, Żnin.
5. Iwański P., Igliński B., Buczkowski R., Chichosz M.; 2017: Badanie wpływu karbonizacji szlamu Ca-Mg na proces oczyszczania solanki metodą ługowo-sodową. Ekoinżynieria, t. 33, Białystok.
6. Najlepsze Dostępne Techniki (BAT). Wytyczne dla Branży Chemicznej w Polsce, Ministerstwo Środowiska, Warszawa, 2005.
7. Praca zbiorowa pod red. Szuflicki M., Malon A., Tymiński M.; 2020: Bilans zasobów złóż kopaliny w Polsce wg stanu na 31 XII 2019 r. Państwowy Instytut Geologiczny, Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa.

#### *Selected Issues in the Management and Disposal of Post-Mining Waste From Mining and Rock Salt Processing*

*The article presents the possibility of economic use of waste generated during the exploitation of the salt deposit and the management of salt mine waters on the example of the salt brewing process. The technological processes of the salt works, which generate wastes known in quality, are outlined in general. The possibility of their further development and methods of their utilization were indicated.*

**Keywords:** utilization of salt waste, salt works, salt mining