

## SKŁADOWANIE I ODZYSK ODPADÓW WTÓRNYCH Z INSTALACJI TERMICZNEGO PRZEKSZTAŁCANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH W KOPALNI PODZIEMNEJ

Waldemar Korzeniowski<sup>1</sup>, Katarzyna Maria Poborska-Młynarska<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, AGH Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica, Al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: walkor@agh.edu.pl, kpm@agh.edu.pl

### STRESZCZENIE

W związku z aktualną i projektowaną rozbudową instalacji termicznego przekształcania odpadów komunalnych w Polsce powstaje ważny problem zagospodarowania powstających w nich odpadów wtórnych. Doświadczenie górnictwa w krajach Zachodniej Europy wskazuje, że odpady te mogą być składowane w kopalniach podziemnych, przede wszystkim w kopalniach soli. W Polsce istnieje możliwość uruchomienia składowiska dla tego rodzaju odpadów w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A., która już dzisiaj dysponuje podziemną przestrzenią o sumarycznej pojemności umożliwiającej ulokowanie tam ponad 3 mln m<sup>3</sup> odpadów, a w przyszłości jeszcze więcej. Proponuje się zastosowanie dwóch technologii: 1 – składowanie suchych odpadów w opakowaniach, 2 – odzysk odpadów jako samozestalającej się pasty w technologii górniczej wypełniania wyrobisk. Przy założonej mocy przerobowej 100 tys. Mg/rok, kopalnia w Kłodawie będzie mogła przyjmować około 25% obecnie wytwarzanych odpadów wtórnych z instalacji termicznego przetwarzania odpadów komunalnych, a obecna objętość składowiska wystarczy na przeszło 20 lat. Składowanie podziemne i odzysk w technologiach górniczych odpadów wtórnych z instalacji termicznego przetwarzania odpadów komunalnych jest korzystny dla środowiska i gospodarki.

**Słowa kluczowe:** zagospodarowanie odpadów, podziemne składowisko odpadów, kopalnia soli, zakład termicznego przekształcania odpadów komunalnych

### STORAGE AND RECOVERY OF SECONDARY WASTE COMING FROM MUNICIPAL WASTE INCINERATION PLANTS IN UNDERGROUND MINE

#### ABSTRACT

Regarding current and planned development of municipal waste incineration plants in Poland there is an important problem of the generated secondary waste management. The experience of West European countries in mining shows that waste can be stored successfully in the underground mines, but especially in salt mines. In Poland there is a possibility to set up the underground storage facility in the Salt Mine “Kłodawa”. The mine today is capable to locate over 3 million cubic meters and in the future it can increase significantly. Two techniques are proposed: 1 – storage of packaged waste, 2 – waste recovery as selfsolidifying paste with mining technology for rooms backfilling. Assuming the processing capacity of the storage facility as 100 000 Mg of waste per year, “Kłodawa” mine will be able to accept around 25 % of currently generated waste coming from the municipal waste incineration plants and the current volume of the storage space is sufficient for more than 20 years. Underground storage and waste recovery in mining techniques are beneficial for the economy and environment.

**Keywords:** waste management, underground storage facility, salt mine, municipal waste incineration plant

#### WSTĘP

Zagospodarowanie odpadów komunalnych w Polsce jest ważnym problemem dla środowiska naturalnego. Odpady te wytwarzane są w dużej ilości: w 2014 roku zebrano 10 mln 330 tys. Mg

[Adamczyk i in. 2015], z czego 52,6% przeznaczono do składowania na składowiskach powierzchniowych. Część odpadów komunalnych zbierana jest selektywnie i wówczas odpady poddawane są procesom odzysku w tym – recyklingowi (20% w 2014 roku). Kolejną część odpadów

jest przekształcana w instalacjach termicznego przekształcania odpadów w procesach z odzyskiem energii (ponad 11%) lub bez odzysku energii (ok. 4%) [Adamczyk i in. 2015]. Termiczne przekształcanie odpadów generuje wtórne odpady, głównie żużle, popioły i pyły. Mogą one być poddane procesom odzysku lub składowane. Chociaż ich ilość jest znacznie zredukowana w stosunku do odpadów pierwotnych, wymagają one dalszego zagospodarowania.

Interesującą propozycję zagospodarowania tego rodzaju odpadów ma górnictwo podziemne. Doświadczenia Niemiec i Wielkiej Brytanii, wskazują, że sposoby unieszkodliwiania odpadów z procesów termicznych w składowiskach założonych w kopalniach podziemnych lub wykorzystanie ich w technikach górnictwa podziemnego, w odpowiednich warunkach są bezpiecznym i korzystnym dla środowiska rozwiązaniem. Szczególnie wyrobiska kopalń soli wskazywane są jako korzystne miejsca lokowania odpadów.

Również w naszym kraju podjęto kroki do uruchomienia podziemnego składowiska odpadów oraz instalacji odzysku w kopalni podziemnej, które będą mogły przyjmować odpady powstające w procesie termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Jest to szansą na ograniczenie obszarów składowisk powierzchniowych i skuteczną izolację odpadów od biosfery. Celem artykułu jest przedstawienie takiej możliwości w środowisku zainteresowanym inżynierią ekologiczną.

## **OSZACOWANIE ILOŚCI ODPADÓW POCHODZĄCYCH Z KRAJOWYCH INSTALACJI TERMICZNEGO PRZEKSZTAŁCANIA ODPADÓW KOMUNALNYCH**

Jak wspomniano we Wstępie, w 2014 roku zebrano 10 mln 330 tys. ton odpadów komunalnych, z czego około 15% zostało poddane przekształceniu termicznemu. Zgodnie z celami przyjmowanymi w gospodarce odpadami na kolejne lata [Aktualizacja krajowego planu gospodarki odpadami 2014], odpady komunalne przekształcane termicznie z odzyskiem energii powinny stanowić w 2020 roku około 10%, a po 2020 r. nie więcej niż 30% odpadów zebranych. W kolejnych latach, po 2025 r. ilość odpadów przekształcanych termicznie ma pozostać na tym samym poziomie – tzn. nie więcej niż 30 % odpadów

zebranych. Instalacje do termicznego przekształcania odpadów, zarówno czynne obecnie, jak i będące w budowie oraz planowane będą dysponować wystarczającymi mocami przerobowymi, a nawet przewiduje się w niektórych województwach nadwyżki mocy przerobowej w stosunku do ilości odpadów [Aktualizacja krajowego planu gospodarki odpadami 2014].

W procesach termicznego przekształcania odpadów komunalnych powstają następujące odpady wtórne: pył lotny, żużel oraz pozostałości po procesach oczyszczania spalin [Piecuch, Dąbrowski 2014]. Ilość tych odpadów zależy od składu przekształcanych odpadów, od technologii procesu termicznego i zastosowanego systemu oczyszczania spalin. Największą ilość stanowi pył lotny i żużel. Ich łączna ilość może stanowić np. 25% [Assamoi, Lawryshyn 2012] lub 27% [Piecuch, Dąbrowski 2014] masy odpadów przed przekształceniem.

Powstaje zatem pytanie jaką ilość odpadów wtórnych będą generować instalacje termicznego przekształcania odpadów w najbliższym dziesięcioleciu w Polsce. Aby oszacować tę wielkość przyjęto następujące założenia:

- ilość odpadów komunalnych zebranych w 2014 roku będzie utrzymywać się na tym samym poziomie w kolejnym dziesięcioleciu 2016–2025 (10 mln 330 tys. Mg),
- ilość odpadów komunalnych przekształconych termicznie w 2014 roku będzie utrzymywać się na tym samym poziomie w latach 2016–2020 (15 % zebranych odpadów),
- ilość odpadów przekształcanych termicznie w latach 2021–2025 będzie utrzymywać się na poziomie 30 % zebranych odpadów,
- ilość odpadów wtórnych będzie stanowiła 27 % masy odpadów poddanych procesom termicznego przetwarzania.

Wyniki obliczeń przedstawiono w tabeli 1. Z szacunkowych obliczeń wynika, że w latach 2016 – 2020 w naszym kraju odpady wtórne z procesów termicznego przekształcania odpadów komunalnych będą wytwarzane w ilości 418 tys. Mg/rok, a w latach 2021–2025 w ilości dwukrotnie większej – 837 tys. Mg/rok. W latach 2016–2025 powstanie 6 mln 275 tys. Mg odpadów wtórnych. Będą to odpady zaliczane do 19 grupy odpadów w katalogu odpadów [Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r.] oraz do dwóch typów: inne niż obojętne i niebezpieczne oraz niebezpieczne.

**Tabela 1.** Szacunkowa ilość odpadów wytwarzanych w instalacjach termicznego przekształcania odpadów komunalnych w latach 2016–2025**Table 1.** Estimated amount of waste generated in the municipal waste incineration plants in 2016–2025 years

Lata	Szacunkowa ilość odpadów komunalnych zbieranych rocznie, Mg/rok	Szacunkowa ilość odpadów komunalnych przekształcanych termicznie, %	Szacunkowa ilość odpadów wtórnych wytwarzanych rocznie w instalacjach termicznego przekształcania odpadów komunalnych, Mg/rok	Szacunkowa ilość odpadów wtórnych wytworzonych w instalacjach termicznego przekształcania odpadów komunalnych, Mg
2016 - 2020	10 330 000	15	418 000	2 090 000
2021 - 2025		30	837 000	4 185 000
		Razem		6 275 000

Przyjmując, że tylko niewielka część tych odpadów zostanie odzyskana, należy liczyć się z przygotowaniem odpowiednich pojemności odpowiednich składowisk.

## PODZIEMNE SKŁADOWISKA I ZAKŁADY ODZYSKU ODPADÓW W KOPALNIACH SOLI NIEMIEC I WIELKIEJ BRYTANII

Jedną z możliwości unieszkodliwienia odpadów wtórnych z procesów termicznego przekształcania odpadów komunalnych, jak również szeregu odpadów innych grup jest składowanie w podziemnych składowiskach założonych w kopalniach podziemnych. Odpady te mogą być również poddane procesom odzysku w technologiach górniczych.

Niemcy są jednym z największych na świecie producentów soli kamiennej i soli potasowych. Od około 40 lat, w wyeksploatowanych wyrobiskach kopalń soli praktykuje się tam składowanie różnego typu odpadów: odpady obojętne, niebezpieczne oraz inne niż niebezpieczne i obojętne [Behnsen 2008, Schade 2008]. Obecnie kilka przedsiębiorstw prowadzi kilkanaście takich składowisk.

Zgodnie z prawem niemieckim rozróżnia się dwa sposoby umieszczania odpadów w kopalniach:

1. w podziemnych składowiskach odpadów (Untertage-Deponie),
2. w podziemnych instalacjach odzysku odpadów w procesach górniczych (Untertage-Verwertung).

W podziemnych składowiskach wykorzystuje się puste przestrzenie (wyrobiska górnicze) powstałe po wyeksploatowanej części złoża kopaliny, jako przestrzeń do składowania odpadów różnych grup. Odpady są przyjmowane

w opakowaniach: torbach typu big-bag, beczkach i kontenerach. Najczęściej, opakowane odpady opuszczane są szybko do kopalni i transportowane do odpowiednio przygotowanych i zabezpieczonych wyrobisk.

W podziemnych instalacjach odzysku odpady są składnikiem mieszanin, którymi wypełnia się wyrobiska celem ich wzmocnienia, polepszenia stateczności i w konsekwencji ochrony powierzchni terenu nad kopalnią. Odpady są tu wykorzystywane przy wykonywaniu tzw. podszadzki górniczej. W latach 1992–2003 umieszczono w kopalniach 20 mln ton odpadów, w tym ok. 9 mln ton odpadów niebezpiecznych. W większości były to kopalnie soli kamiennej i potasowej [Schade 2008].

W Wielkiej Brytanii, wykorzystując doświadczenia niemieckie uruchomiono w 2005 roku podziemne składowisko Minosus w kopalni soli kamiennej Winsford Mine.

Składowiska i podziemne zakłady odzysku w kopalniach soli przyjmują i użytkują rozmaite grupy i rodzaje odpadów. Przyjmowane są odpady niemal wszystkich dwudziestu grup klasyfikacji odpadów. Najbogatsza i powtarzająca się oferta składowisk dotyczy odpadów grupy 10 i 19. Do 19-tej grupy należą wtórne odpady z instalacji termicznego przetwarzania odpadów komunalnych. W dalszej części rozdziału scharakteryzowano wybrane trzy zakłady podziemnego składowania i odzysku odpadów w Europie Zachodniej.

### Podziemne składowisko odpadów Herfa-Neurode (Untertage-Deponie Herfa-Neurode)

UTD Herfa-Neurode – największe podziemne składowisko odpadów na świecie założone zostało w Niemczech w r. 1972 jako składowisko odpadów niebezpiecznych w wyrobiskach nieczynnej kopalni soli potasowych [Behnsen 2008, Schade 2008]. Kopalnia prowadziła eks-

ploatację od końca XIX wieku na głębokości ok. 700 m. W wyniku eksploatacji powstawały komory rozdzielone filarami solnymi, tworząc podziemną pustą przestrzeń o ogromnej łącznej objętości liczonej w milionach metrów sześciennych. Przestrzeń ta wykorzystana jest do składowania odpadów.

Opakowane odpady w workach typu big-bag, w stalowych beczkach lub w stalowych kontenerach dostarczane są do kopalni koleją, samochodami oraz – o ile odpady nadają się do transportu pneumatycznego – w ciężarówkach silosowych luzem [Behnsen 2008, [www.ks-entsorgung.com](http://www.ks-entsorgung.com)...]. Odpady luzem pakowane są na miejscu do worków big-bag.

Odpady na paletach są opuszczane do kopalni szybem, a następnie do pól składowania zawożone są wozami transportowymi na odległość kilku kilometrów. Worki i beczki układane są w komorze w kilku warstwach. Określone grupy odpadów lokowane są w oddzielnych komorach. W razie konieczności możliwy jest odzysk odpadów.

Roczna zdolność przyjmowania odpadów wynosi 200 tys. ton [[www.ks-entsorgung.com](http://www.ks-entsorgung.com)...].

#### **Podziemne składowisko odpadów i podziemny zakład odzysku odpadów Glückauf Sondershausen**

Kopalnia Glückauf Sondershausen jest najstarszą kopalnią soli potasowych w Niemczech – została uruchomiona w 1896 r. [Marx i in. 2003, [www.gses.de](http://www.gses.de)...]. Obecnie kopalnia należy do kompanii Glückauf Sondershausen Entwicklungs- und Sicherungsgesellschaft mbH (GSES). Jest to przedsiębiorstwo zajmujące się głównie podszadaniem wyrobisk kopalni z użyciem odpadów (podziemna utylizacja), a ponadto – prowadzące w wyrobiskach kopalni podziemne składowisko odpadów oraz zajmujące się wydobywaniem niewielkiej ilości soli kamiennej. Z powodu intensywnego deformowania się powierzchni terenu nad kopalnią skutkiem podziemnej eksploatacji, konieczne stało się podszadzenie części pól eksploatacyjnych, zwłaszcza tych, które leżą pod zabudowanym terenem. Stosuje się kilka rodzajów podszadzki z wykorzystaniem soli i różnych rodzajów odpadów. Są to m.in.: pyły z filtrów ze spalarni odpadów komunalnych, hut, odlewni i innych procesów termicznych, osady z instalacji oczyszczania ścieków przemysłowych, gruz budowlany, grunty, materiały z rozbiórki, żużle i wiele innych.

Od 2006 roku w kopalni funkcjonuje również składowisko podziemne odpadów. Obszar składowiska jest oddzielony od obszaru podszadzania i tworzy oddzielne odizolowane pole składowania. Odpady składowane są w opakowaniach (torby big-bag, stalowe beczki i kontenery).

Zdolność przerobowa kopalni wynosi ok. 200 000 Mg/rok [[www.gses.de](http://www.gses.de)...].

#### **Podziemne składowisko odpadów w Wlk. Brytanii – składowisko Minosus w kopalni Winsford Mine, Cheshire**

Podziemne składowisko odpadów niebezpiecznych Minosus założone w wyeksploatowanych polach czynnej kopalni soli kamiennej Winsford Mine należy do przedsiębiorstwa Veolia Environmental Services United Kingdom. Składowisko zostało uruchomione w 2005 r. i jest jedynym składowiskiem tego rodzaju w Anglii. Kopalnia Winsford jest obecnie największą podziemną kopalnią soli kamiennej w Wlk. Brytanii należąca do kompanii Compass Minerals UK Ltd. Początki kopalni sięgają połowy XIX wieku. Eksploatację prowadzi się na głębokości do około 220 m. Zdolność produkcyjna kopalni sięga 1,5 mln ton rocznie [<http://phx.corporate-ir.net>...]. Znaczna część wyrobisk kopalni o objętości 2 mln m<sup>3</sup> jest zagospodarowana przez podziemne składowisko odpadów niebezpiecznych Minosus.

W składowisku przyjmowane są odpady, których lista jest ściśle określona dla warunków tego składowiska. Są to przede wszystkim nieorganiczne odpady chemiczne oraz odpady z procesów termicznych. Przyjmowane są opakowane odpady w stanie stałym i granulaty, w torbach big-bag lub beczkach. Przedsiębiorstwo Veolia zajmuje się również odbiorem i przeróbką odpadów nieorganicznych i ich przystosowaniem do podziemnego składowania.

Rocznie przyjmuje się do 100 000 Mg odpadów [<http://www.veolia.co.uk>...].

#### **FORMALNO-PRAWNE ASPEKTY UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW W SKŁADOWISKU PODZIEMNYM**

Stan prawny dotyczący problematyki podziemnego składowania odpadów w naszym kraju opiera się na kilkunastu ustawach i rozporządzeniach w zakresie szeroko pojętej problematyki



środowiska naturalnego oraz działalności geologiczno-górnictwej. Podstawowymi dokumentami są tu ustawy: „Prawo geologiczne i górnicze” [Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze] oraz „O odpadach” [Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach].

„Prawo geologiczne i górnicze” definiuje podziemne składowisko jako „część górotworu, w tym podziemne wyrobisko górnicze, wykorzystywaną w celu unieszkodliwiania odpadów przez ich składowanie”. Podziemne składowisko lokalizuje się w formacji geologicznej, której budowa i właściwości uniemożliwiają migrację substancji niebezpiecznych do biosfery i wód podziemnych.

Określone są trzy typy podziemnych składowisk odpadów: podziemne składowisko odpadów obojętnych, niebezpiecznych i innych niż niebezpieczne i obojętne.

Do podziemnego składowania można skierować tylko niektóre odpady: takie, których właściwości nie stwarzają zagrożenia w składowisku. „Prawo geologiczne i górnicze” zakazuje składowania szeregu odpadów, m.in.: odpadów w postaci ciekłej, zakaźnych, wybuchowych. Ponadto, poza wyżej wspomnianymi odpadami, do składowiska podziemnego danego typu nie można przyjmując wszystkich pozostałych odpadów, ale tylko te, które spełniają określone przepisami warunki, które nazywa się kryteriami dopuszczania odpadów na składowisko danego typu. Takimi kryteriami są np. dopuszczalne wartości wymywania niektórych substancji (metali), albo inne parametry – np. dopuszczalna zawartość materii organicznej (TOC). Oznacza to, że do podziemnego składowiska nie można przyjmować wszystkich odpadów, ale tylko te, które nie są zakazane w „Prawie geologicznym i górniczym” i które spełniają kryteria dopuszczenia dla składowiska danego typu. Ponadto, dla każdego składowiska ustala się indywidualne kryteria przyjęcia odpadów w dostosowaniu do lokalnych warunków. Podziemne składowanie jest działalnością gospodarczą koncesjonowaną, na którą koncesji udziela Minister Środowiska.

## MOŻLIWOŚCI PODZIEMNEGO SKŁADOWANIA ORAZ ODZYSKU ODPADÓW W KOPALNI SOLI „KŁODAWA”

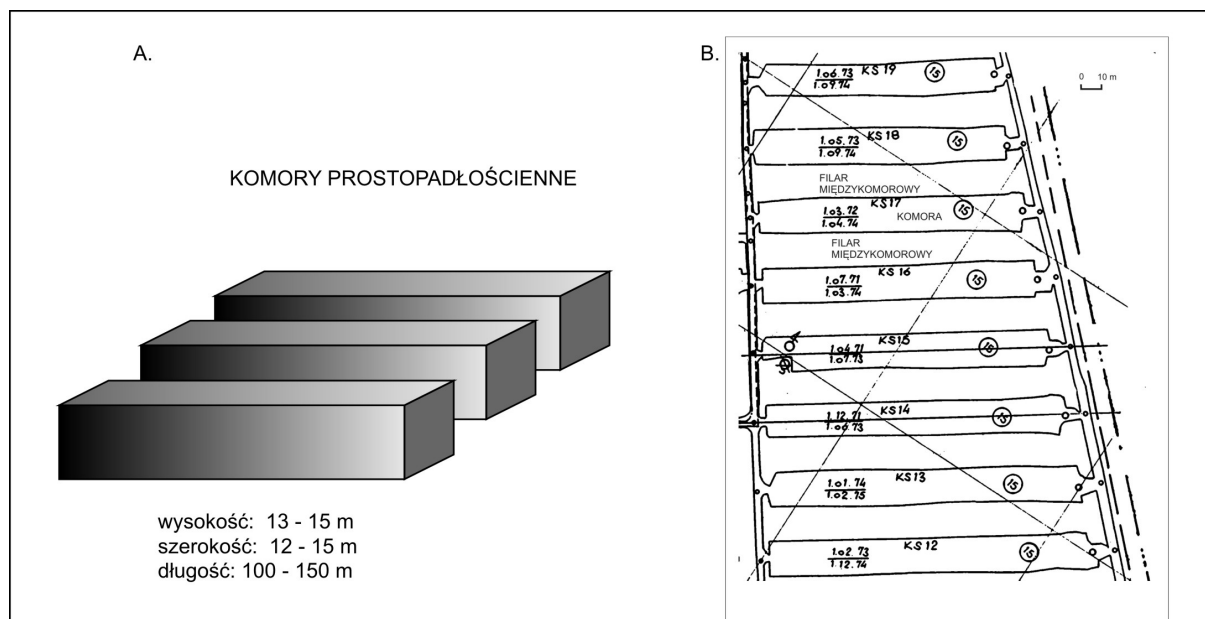
W kopalni kłodawskiej rozważa się uruchomienie podziemnego składowiska odpadów oraz

instalacji odzysku odpadów do wypełniania komór celem polepszenia stateczności górotworu.

O możliwości wykorzystania wyrobisk poeksploatacyjnych w złożu solnym jako składowiska odpadów decyduje szereg czynników geologicznych i technicznych, takich jak: położenie kopalni, budowa geologiczna złoża i jego otoczenia, warunki hydrogeologiczne i geologiczno-górnictwe (struktura kopalni, rodzaje wyrobisk, systemy eksploatacji). Wymienione warunki mogą być spełnione w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A., zlokalizowanej w Polsce środkowej. Kopalnia została założona w latach 1949–50 i od ponad sześćdziesięciu lat wydobywa sól kamienną. Obecnie jest jej największym producentem soli kamiennej w Polsce. W ostatnich latach wydobywanie sięgało około 600 tysięcy Mg soli rocznie. Głównymi produktami są: sól drogowa, sól przemysłowa i sól spożywcza, wytwarzane w wielu asortymentach. Poza tymi podstawowymi produktami są również inne: sól paszowa, sól kąpielowa, lizawki solne, galanteria solna. Kopalnia prowadzi też działalność turystyczną.

### Struktura kopalni i system eksploatacji

Kopalnia założona jest w wysadzie solnym, zbudowanym ze skał górnopermskiej formacji solonośnej. Złoże udostępnione jest z powierzchni ziemi trzema szybami. Kopalnia ma trzy poziomy główne na głębokościach około: 450 m, 600 m i 750 m. W granicach obszaru górniczego wydzielono kilka pól eksploatacyjnych, które zostały podzielone na międzypoziomy. Podstawowym obecnie systemem eksploatacji jest tzw. system komór niskich. Sól wybierana jest prostopadłociennymi komorami o wymiarach zmieniających się wraz z głębokością eksploatacji i budową geologiczną złoża: szerokość 15–12 m, wysokość 15–13 m, długość 100–150 m. Schemat rozmieszczenia komór na jednym z poziomów kopalni przedstawiono na rysunku 1. Komory są stateczne, chociaż podlegają powolnym postępującym deformacjom. Podczas eksploatacji systemami komorowymi w złożach soli kamiennej nie likwiduje się pustek poeksploatacyjnych, tzn. wolnej przestrzeni, która powstaje po wybraniu kopaliny. Z tego powodu w kopalniach soli pozostają podziemne puste przestrzenie o olbrzymich objętościach. Strukturę przestrzenną kopalni stanowi sieć wyrobisk korytarzowych i komór o łącznej objętości kilkunastu mln m<sup>3</sup>.



**Rys. 1.** Rozmieszczenie komór i filarów międzykomorowych w systemie eksploatacji komorami niskimi w Kopalni Soli „Kłodawa” [Korzeniowski i in. 2015]: A – schemat rozmieszczenia komór; B – fragment mapy pola eksploatacyjnego

**Fig. 1.** Distribution of rooms and pillars in the low-chamber exploitation technique in the “Kłodawa” Salt Mine: A – scheme of the chamber distribution; B – section of the exploitation field map

### Przestrzeń do składowania i odzysku odpadów

W związku z istniejącymi planami kontynuacji eksploatacji soli i rozwoju kopalni w kolejnych latach, jedynie niektóre części pól eksploatacyjnych można przeznaczyć do składowania i odzysku odpadów. Obecnie wskazać można dwa rejonu kopalni o łącznej pojemności wyrobisk przekraczającej 3 mln m<sup>3</sup>.

### Proponowane technologie składowania i odzysku odpadów

Mając na uwadze warunki geologiczno-górnictwa i techniczne w kopalni „Kłodawa” proponuje się zastosowanie dwóch technologii [Korzeniowski i in. 2015]:

1. składowanie suchych odpadów w opakowaniach,
2. odzysk odpadów jako samozestalającej się pasty w technologii górniczej wypełniania wyrobisk.

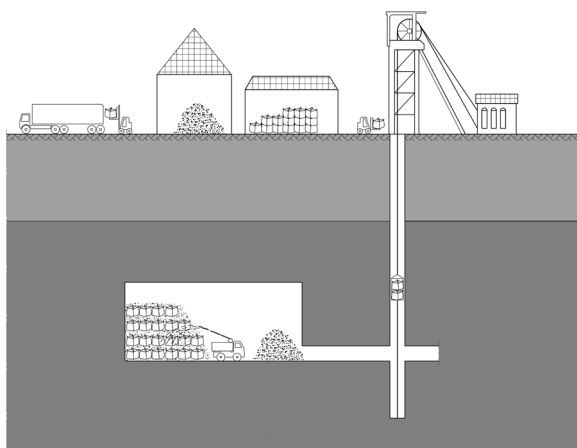
Składowanie suchych odpadów w opakowaniach jest technologią sprawdzoną w kopalniach Europy Zachodniej, opanowaną technicznie, nie wymagająca specjalnych instalacji. Nadaje się ona zarówno do odpadów masowych, od-

bieranych w dużych ilościach, jak i w ilościach niewielkich. Może być stosowana w komorach i wyrobiskach korytarzowych. Do technologii tej najkorzystniejszą postacią odpadów są drobnofrakcyjne odpady suche, opakowane np. w torbach big-bag.

Ujemnymi stronami tej technologii podnoszącymi koszty składowania są: stosowanie opakowań, które pozostają w składowisku, oraz ograniczenia wynikające z przepustowości szybu i wyrobisk kopalnianych. Schemat składowania odpadów w opakowaniach z doszczelnianiem solą rozdrobnioną przedstawia rysunek 2.

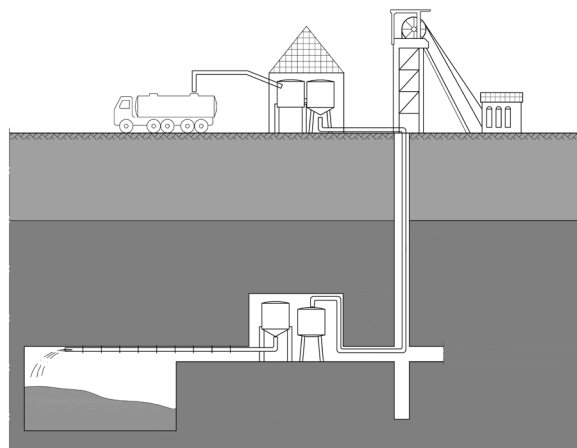
Odzysk odpadów jako samozestalającej się pasty jest również sprawdzoną technologią, stosowaną nie tylko w podziemnych zakładach odzysku odpadów w Niemczech, ale znaną w górnictwie jako technologia podsadzki pastowej. Polega ona na sporządzeniu mieszaniny, w której skład wchodzi drobnofrakcyjne odpady, materiał wiążący i woda (w kopalniach soli – solanka) oraz transporcie mieszaniny rurociągiem do wyrobiska górniczego w kopalni. W docelowym wyrobisku mieszanina podlega zestaleniu z całkowitym związaniem cieczy, tworząc zwęzły maszyn o wytrzymałości na ścislenie rzędu kilku do kilkunastu MPa.

Biorąc pod uwagę strukturę wyrobisk w kopalni „Kłodawa”, odzysk odpadów w tech-



**Rys. 2.** Schemat technologii podziemnego składowania opakowanych odpadów [Korzeniowski et al. 2015]

**Fig. 2.** Schematic illustration of the underground packaged waste storage technique [Korzeniowski et al. 2015]



**Rys. 3.** Schemat technologii wypełniania wyrobisk samozestalającą się pastą sporządzoną na bazie odpadów [Korzeniowski et al. 2015]

**Fig. 3.** Schematic illustration of backfilling technique with self-solidifying waste paste

nologii podsadzki pastowej można realizować na kilka sposobów:

- pneumatyczny transport rurociągiem suchych odpadów drobnofrakcyjnych z powierzchni do komory w wybranym rejonie kopalni,
- przygotowanie mieszaniny w instalacji w komorze,
- hydrauliczny transport rurociągiem bezpośrednio do wypełnianych komór.

Schemat tej technologii przedstawia rysunek 3.

### Oszacowanie objętości i tempa wypełniania wyrobisk w kopalni przeznaczonych do składowania odpadów

Wymaganą objętość wyrobisk przeznaczoną do składowania odpadów pochodzących z termicznego przekształcania odpadów komunalnych można oszacować przyjmując następujące przybliżone wartości:

- moc przerobową składowiska: 100 000 Mg/rok (wielkość porównawcza),
- średnią gęstość objętościową odpadów: 1 Mg/m<sup>3</sup> [Szponder 2012, www.mhc-engineering.pl...],
- czas przyjmowania odpadów: 1 rok,
- objętościowy współczynnik wypełnienia wyrobisk odpadami: 0,75 [Korzeniowski i in. 2015],
- średnią objętość komory: 22 500 m<sup>3</sup> (15×15×100 m).

Jak widać z szacunkowych obliczeń, przy założeniu, że moc przerobowa kopalni równa jest 100 tys. Mg/rok, w podziemnym składowisku w kopalni „Kłodawa” w ciągu jednego roku zapełni się około 133 tys. m<sup>3</sup> wyrobisk, tj. około 6 komór, a pojemność wyrobisk, którą kopalnia obecnie może przeznaczyć do składowania (ponad 3 mln m<sup>3</sup>) wystarczy na przeszło 20 lat. Z czasem, wraz z kończeniem eksploatacji w poszczególnych rejonach kopalni objętość przeznaczona do składowania odpadów będzie powiększana.

**Tabela 2.** Szacowanie wymaganej pojemności podziemnego składowiska

**Table 2.** Estimation of the required capacity in the underground storage facility

Czas przyjmowania odpadów, lata	Wymagana pojemność składowiska i liczba komór
1	0,133 mln m <sup>3</sup> 6 komór

Wymagana objętość wyrobisk przeznaczona do odzysku odpadów w technologii pastowej zależy od składu mieszaniny. Będzie ona jednak mniejsza niż objętość oszacowana dla podziemnego składowania, a więc tempo wypełniania wyrobisk będzie powolniejsze.

Przy założonej mocy przerobowej 100 tys. Mg/rok, kopalnia w Kłodawie będzie mogła przyjmować około 25% obecnie wytwarzanych odpadów wtórnych z instalacji termicz-

nego przetwarzania odpadów komunalnych, a gdy wszystkie projektowane instalacje zostaną uruchomione – około 12%.

## WNIOSKI

W najbliższych latach w Polsce zostanie uruchomionych kilka nowych zakładów termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Oszacowano, że obecnie w zakładach tych powstaje około 418 tys. Mg odpadów rocznie, a za 10 lat, gdy przekształcaniu termicznemu będzie poddawane do 30% zebranych odpadów komunalnych, ilość wytwarzanych odpadów zwiększy się dwukrotnie. Odpady wtórne wytwarzane w instalacjach termicznego przekształcania odpadów są dotychczas lokowane na składowiskach powierzchniowych. Doświadczenia górnictwa podziemnego niemieckiego i brytyjskiego wskazują, że odpady ze spalarni odpadów komunalnych mogą być z powodzeniem składowane lub poddane procesom odzysku w technologiach górniczych w podziemnych kopalniach soli.

W Polsce rozważa się uruchomienie w Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. podziemnego składowiska odpadów oraz odzysk odpadów w technologiach górniczych. Jednym z rodzajów odpadów, które są przede wszystkim brane pod uwagę są odpady wytwarzane w instalacjach termicznego przekształcania odpadów komunalnych. Możliwe jest składowanie tych odpadów oraz odzysk z wykorzystaniem technologii samozestalającej się pasty w wyrobiskach kopalni. Przy założonych mocach przerobowych kopalni wynoszących łącznie 100 000 Mg odpadów/rok – co stanowi około 25% aktualnie wytwarzanych odpadów, pojemność wyrobisk, które kopalnia może obecnie przeznaczyć do składowania i odzysku wystarcza na dwadzieścia kilka lat.

Składowanie podziemne i odzysk w technologiach górniczych odpadów wtórnych z instalacji termicznego przetwarzania odpadów komunalnych jest korzystne dla środowiska i gospodarki. Jest to: alternatywa dla składowania odpadów na powierzchni terenu prowadząca do ograniczenia arealu składowisk powierzchniowych, sposób gospodarczego wykorzystania wyrobisk kopalnianych i sposób stabilizacji górotworu powodujący zmniejszenie negatywnych wpływów podziemnych pustek na powierzchnię.

## LITERATURA

1. Adamczyk I., Różańska B., Sobczyk M., 2015. Infrastruktura komunalna w 2014 r. Główny Urząd Statystyczny. Informacje i opracowania statystyczne. Warszawa. <http://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/infrastruktura-komunalna-nieruchomosci/nieruchomosci-budynki-infrastruktura-komunalna/infrastruktura-komunalna-w-2014-r-3,12.html>.
2. Aktualizacja krajowego planu gospodarki odpadami 2014. Projekt z dnia 17 września 2015 r. Ministerstwo Środowiska.
3. Assamoi B., Lawryshyn Y., 2012. The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting. *Waste Management*, 32, 1019–1030.
4. Behnsen Harmut, 2008. Underground repositories for chemically toxic waste in German salt and potash mines. W: Rempe Norbert T. (ed.), 2008 – Deep Geologic Repositories. Geological Society of America. Series GSA Reviews in Engineering Geology, vol. 19.
5. Korzeniowski W., Poborska-Młynarska K., Kulik M. 2015. Studium wykonalności składowania odpadów w pustkach poeksploatacyjnych Kopalni Soli „Kłodawa” S.A.”. *Mat. arch. Kopalni Soli „Kłodawa” S.A.*
6. Marx H., Lack D., Krauke W., 2003. The underground voids filling with waste on example of Glückauf Sondershausenmine. *Technika Poszukiwań Geologicznych*, r. 42, nr 5.
7. Piecuch T., Dąbrowski J., 2014. Projekt koncepcyjno-technologiczny Zakładu Termicznego Przekształcania Odpadów Komunalnych dla Regionu Środkowopomorskiego. Środkowo-Pomorskie Towarzystwo Naukowe Ochrony Środowiska. Monografia nr 2. Koszalin. [http://ros.edu.pl/index.php?option=com\\_content&view=article&id=8:vol-16-no-3&catid=13&Itemid=118&lang=pl](http://ros.edu.pl/index.php?option=com_content&view=article&id=8:vol-16-no-3&catid=13&Itemid=118&lang=pl).
8. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów. *Dz. U. nr 0, poz.1923*.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 28 grudnia 2011 r. w sprawie podziemnych składowisk odpadów. *Dz. U. nr 298, poz.1771*.
10. Schade Hartmut W.J., 2008. Reverse mining – The development of deep geologic isolation of hazardous (chemotoxic) waste in Germany and its international prospects. W: Rempe Norbert T. (ed.), 2008 – Deep Geologic Repositories. Geological Society of America. Series GSA Reviews in Engineering Geology, vol. 19.
11. Szponder D., 2012. Badania wybranych właściwości popiołów lotnych z zastosowaniem analizy obrazu. AGH. Praca doktorska.



12. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach. Dz.U. 2013 poz. 21. <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU2013000021>.
13. Ustawa z dnia 9 czerwca 2011 r. Prawo geologiczne i górnicze. Dz. U. z 2014r. poz. 613. <http://isap.sejm.gov.pl/DetailsServlet?id=WDU20111630981>.
14. [http://mhc-engineering.pl/instalacja\\_na\\_skladowisku\\_odpadow\\_paleniskowych\\_w\\_kamieniu,17](http://mhc-engineering.pl/instalacja_na_skladowisku_odpadow_paleniskowych_w_kamieniu,17).
15. <http://phx.corporate-ir.net/phoenix.zhtml?c=148615&p=irol-reportsAnnual>.
16. <http://www.gses.de/index.php?id=10&L=0>.
17. [http://www.ks-entsorgung.com/pl/entsorgungsweg/utd/standorte\\_utd.html](http://www.ks-entsorgung.com/pl/entsorgungsweg/utd/standorte_utd.html)
18. <http://www.veolia.co.uk/our-services/our-services/hazardous-waste-services/underground-storage-expertise>.