



Model koncepcyjny trzystopniowej izolacji w podziemnym składowisku odpadów w wysadzie solnym

The Conceptual Model for Three-Stage Isolation in the Underground Waste Storage Facility within the Salt Dome

Katarzyna POBORSKA-MŁYNARSKA, Waldemar KORZENIOWSKI

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

STRESZCZENIE

W Polsce planowane jest utworzenie podziemnego składowiska odpadów w kopalni soli. Celem artykułu jest przedstawienie modelu trwałej izolacji substancji szkodliwych od wód podziemnych i biosfery w składowisku w wysadzie solnym. Podstawą do utworzenia modelu są doświadczenia uzyskane w podziemnym składowaniu w krajach Europy Zachodniej, znajomość geologiczno-górnictwowych warunków i techniki eksploatacji soli w wysadach solnych Polski. Dla wysadu solnego stworzono koncepcję trzystopniowej izolacji uwzględniając sztuczne i naturalne bariery w składowisku.

Słowa kluczowe: podziemne składowisko odpadów, kopalnia soli, izolacja odpadów, wysad solny

ABSTRACT

The construction of the underground waste storage facility in the salt mine in Poland is planned. The aim of this article is to demonstrate a model of permanent isolation of pollutants from groundwater and the biosphere in the storage located within the salt dome. The basis for the model are: the experiences gained in underground storage in Western Europe, the knowledge of geological and mining conditions and salt-mining techniques in salt domes, Central Poland. For the salt dome a three-stage isolation concept has been revealed taking into account natural and artificial barriers.

Key words: underground waste storage facility, salt mine, waste isolation, salt dome

WPROWADZENIE

Składowanie odpadów w wyrobiskach kopalń podziemnych jest praktykowane od kilkudziesięciu lat w Niemczech, a od krótszego czasu – także w innych krajach Europy Zachodniej. Podziemne składowiska założone są przede wszystkim w kopalniach soli, ponieważ warunki panujące w złożach solnych zazwyczaj są korzystne dla trwałej izolacji odpadów od wód podziemnych i biosfery. Decyduje o tym budowa geologiczna złóż i właściwości skał solnych i górotworu, który jest zasadniczo szczelny. Ponadto, w kopalniach soli zachowuje się calizny chroniące wyrobiska przed dopływem wód podziemnych spoza złoża oraz stosuje się powszechnie systemy eksploatacji, pozostawiające po wydobywaniu kopaliny nie zlikwidowane wyrobiska górnicze - komory, które mogą być przeznaczone do składowania odpadów.

Składowisko podziemne stanowi najczęściej zespół lub zespoły wyrobisk odizolowanych od pozostałych części kopalni w ten sposób, aby proces składowania nie zakłócał eksploatacji soli.

W Polsce planuje się budowę podziemnego składowiska odpadów w kopalni soli. Celem tego artykułu jest przedstawienie koncepcji izolacji odpadów dla podziemnego składowiska założonego w wysadzie solnym w geologiczno-górnictwowych warunkach panujących w wysadach środkowopolskich.

ZASADY IZOLACJI ODPADÓW W PODZIEMNYM SKŁADOWISKU

Głównym zadaniem podziemnego składowiska odpadów jest zatrzymanie zgromadzonych substancji szkodliwych wewnątrz składowiska oraz ich trwała izolacja od biosfery i wód

podziemnych (Langer, 2001). Izolacja odpadów w podziemnych składowiskach osiągana jest przez utworzenie izolującego systemu: odpady-składowisko-górotwór (Behnsen, 2008). Ten system tworzy się indywidualnie dla każdego złoża, kopalni, składowiska i rodzaju odpadów.

Doświadczenie uzyskane w podziemnym składowaniu, głównie w Niemczech, a także badania nad podziemnym składowaniem odpadów promieniotwórczych doprowadziły do sformułowania koncepcji trwałej izolacji odpadów w kopalni podziemnej. Polega ona na tzw. systemie wielu barier, tzn. przeszkód, które utrudniają uwalnianie się odpadów ze składowiska, a łącznie stanowią szczelny system uniemożliwiający rozprzestrzenianie się odpadów i ich przenikanie do wód podziemnych i biosfery (Behnsen, 2008, Poborska-Młynarska, 2013). Odpady w składowisku są izolowane barierami sztucznymi (inżynierskimi, geotechnicznymi) i naturalnymi. Barrierami sztucznymi są:

- postać odpadów,
- opakowanie,
- uszczelnienia stosowane w wyrobiskach na obszarze składowania,
- środki służące zamknięciu, podsadzaniu, tamowaniu i uszczelnianiu obszaru składowiska na etapie likwidacji,
- środki służące likwidacji kopalni i uszczelnieniu szybów.

Barierę naturalną tworzy szczelny górotwór solny i ewentualnie skały otaczające.

Postać fizyczna odpadów

Odpady przyjmowane do składowisk w kopalniach soli mają różną postać fizyczną i różne stany skupienia. Mogą być w postaci stałej: jako odpady różnych gabarytów lub jako stałe frakcje o różnym rozdrobnieniu, np. gruz budowlany, żużel, popioły, pyły, granulaty. Odpady w stałej postaci mogą też powstawać w wyniku przetwarzania – np. zestalania odpadów. Składowane są też odpady w postaci zawiesin, szlamów, osadów.

Postać odpadów i ich właściwości decydują o sposobach ich opakowania (worki, beczki, kontenery, itp.) i technologii wypełniania wyrobisk.

Opakowanie

W składowiskach Europy Zachodniej wypracowano metodę składowania w plastikowych workach (big-bag), stalowych i plastikowych beczkach oraz w stalowych kontenerach. Opakowania są dobierane lub projektowane dla rodzaju i właściwości odpadów oraz technologii składowania, chociaż praktycznie ograniczają się do wymienionych wyżej.

Opakowania zabezpieczają odpady w czasie ich przekazywania, transportu i izolują je od otoczenia. Z czasem następuje stopniowe niszczenie opakowań, a izolację odpadów przejmują pozostałe bariery.

W przypadku wypełniania wyrobisk odpadami bez opakowań - tej bariery nie ma.

Uszczelnienie wyrobisk w składowisku

Najkorzystniejsze dla długotrwałej stateczności wyrobisk w kopalni soli jest szczelne wypełnianie ich odpadami bez pozostawiania pustek. Wtedy wypełnienie komory działa jak podsadzka górnicza: wspiera filary a przy całkowitym wypełnieniu – również strop. Dlatego też, podczas umieszczania niektórych rodzajów odpadów w opakowaniach (np. w big-bagach) stosuje się czasem uszczelnianie kolejnych układanych warstw rozdrobnioną solą, pełniącą rolę podsadzki suchej. Jest to również sposób wstępnej izolacji pojemników z odpadami. Ten sposób składowania jest odzyskiem odpadów, polegającym na wykorzystaniu właściwości podpornościowych i wypełniających tego materiału, zastępując w ten sposób inne materiały stosowane zwykle w tym celu.

Komory, po wypełnieniu odpadami zamykane są i uszczelniane tamami. Mogą to być tamy murowe lub betonowe. Celem tego jest zabezpieczenie przed dostępem ludzi, stratami powietrza i lokalna izolacja odpadów w wyrobisku. Rodzaj tam, ich szczelność, sposób i czas wykonania, rola jaką mają spełniać są ustalane dla lokalnych warunków w składowisku.

Do zamknięcia obszaru składowania projektuje się wielosegmentowe tamy zakładane w wyrobiskach korytarzowych udostępniających obszar składowiska. Wyrobiska dodatkowo są podsadzane (Brewitz i in., 2008).

Likwidacja kopalni, uszczelnienie i likwidacja szybów

Podczas likwidacji kopalni, w której znajduje się podziemne składowisko należy zastosować szczególne zabezpieczenia, uniemożliwiające skażenie wód podziemnych.

W kopalniach soli prowadzących wieloletnią eksploatację, objętość wyrobisk jest bardzo duża i często sięga kilkunastu - kilkudziesięciu milionów metrów sześciennych. W takim przypadku mało prawdopodobne jest całkowite wypełnienie wyrobisk odpadami. Wyrobiska likwidowanych kopalni soli mogą być zatem pozostawiane jako puste, mogą być częściowo podsadzone lub wypełnione solanką (Kunzman i in., 2007).

Dla bezpieczeństwa izolacji składowiska, niezależnie od metody likwidacji kopalni, najpewniejsze wydaje się podsadzenie otoczenia składowiska oraz rejonu szybów.

Szyby są drogami potencjalnego połączenia hydraulicznego między wyrobiskami podziemnymi i poziomami wodonośnymi w nadkładzie złoża. Likwidacja szybów polega na wykonaniu korków uszczelniających dla poziomów wodonośnych w nadkładzie i ich szczelnym zasypaniu. Techniczne środki likwidacji kopalni wraz z szybami stanowią ostatnią geotechniczną barierę w składowisku, odgrywającą rolę w fazie poeksploatacyjnej. Ostateczna likwidacja składowiska przypada zatem na etap likwidacji szybów kopalni.

GEOLOGICZNO-GÓRNICZE WARUNKI, STRUKTURA KOPALNI I SPOSÓB EKSPLOATACJI W KOPALNI SOLI W WYSADZIE SOLNYM

Koncepcja izolacji odpadów w podziemnym składowisku została opracowana dla modelowego wysadu solnego w Polsce środkowej, z uwzględnieniem warunków geologiczno-górnictwowych i sposobów eksploatacji w złożach tego regionu.

Budowa geologiczna

Wysad solny zbudowany jest ze skał górnego permu - cechsztynu (sole cechsztyńskie). Najwyższą jego część stanowi czapa gipsowo-iłowa o zmiennej grubości, ale przeważnie 100 – 150 m. Leży ona na stropie soli, czyli zwierciadle solnym, znajdującym się na głębokości 100 - 250 m. Ponad czapą złoża zalegają utwory kenozoiczne, a do ścian wysadu przylegają kompleksy skał mezozoicznych. Ściany wysadu zapadają stromo, pionowo, a miejscami przechylone są wstecznie. Strefa kontaktu pomiędzy ścianami wysadu a przylegającymi formacjami mezozoicznymi jest strefą tektoniczną.

Budowa wewnętrzna wysadu jest skomplikowana. Kompleksy soli kamiennej pojawiają się pośród płonnych skał cechsztyńskiej formacji solonośnej. Wyróżnia się tu formy antyklinalne i synklinalne. Największe skupienia czystej soli kamiennej występują w jądrach antyklin.

Stosunki wodne w otoczeniu wysadu solnego

W nadkładzie i otoczeniu wysadu występują wody podziemne w kilku piętrach wodonośnych. Ponadto, najwyższą część wysadu tzn. czapa gipsowo-iłowa, jako utwór zwierciadła i skrasowiały jest infiltrowana przez wody z warstw kenozoiku. Czapa gipsowo-iłowa ma połączenia hydrauliczne z wodami nadkładu i wodami w strefach dyslokacji tektonicznych wzdłuż ścian wysadu. Lokalnie, utwory czapy złoża mogą izolować zwierciadło solne od wód nadkładu. Dzieje się tak w tych jej partiach, w których wykształcona jest jako typowa czapa iłowa.

Struktura kopalni

Z powierzchni terenu złoża udostępnione jest szybami wydobywczymi i wentylacyjnym i rozcięte poziomami głównymi założonymi od głębokości około 450 m we wzajemnej odległości 150 m w pionie. Z poszczególnych poziomów udostępniane są pola eksploatacyjne zakładane w większych nagromadzeniach soli kamiennej spełniających kryteria ilościowe i jakościowe. Poziomy główne połączone są w obrębie lub w sąsiedztwie pól eksploatacyjnych systemem pochylni. Pola eksploatacyjne rozcięte są na międzypoziomy oddalone od siebie o 25 m w pionie.

Dla bezpieczeństwa przeciwwodnego w kopalni w wysadzie solnym wydziela się strefy, w których nie prowadzi się eksploatacji i nie wykonuje wyrobisk górniczych. Są to filary

bezpieczeństwa, graniczne i ochronne. Główną ich rolą jest zabezpieczenie kopalni przed dopływem wód podziemnych spoza wysadu. Zgodnie z przepisami wyznacza się następujące filary:

- poniżej zwierciadła solnego - stropową półkę bezpieczeństwa o grubości 150 - 200 m,
- przy ścianach wysadu - filary graniczne o grubości 50 m (do głębokości 600 m) i - 75 m (poniżej głębokości 600 m),
- filary ochronne dla szybów - o średnicy 200 m do głębokości 600 m oraz 300 m poniżej 600 m głębokości,
- wokół otworów wiertniczych z powierzchni - filary o średnicy równej 100 m dla soli kamiennych oraz 200 m, w przypadku nawiercenia soli magnezowo-potasowych; ponadto pod dnem otworu wiertniczego pozostawia się półka o grubości 50 m.

System eksploatacji

W kopalni sól wybierana jest systemem komorowym właściwym, w którym komory mają kształt prostopadłościanów. Sąsiadujące komory rozdzielone są filarami międzykomorowymi, a komory leżące na kolejnych międzypoziomach rozdzielone są półką międzypoziomową. Wymiary komór i filarów międzykomorowych oraz grubość półek międzypoziomowych zależą od głębokości eksploatacji. Na poziomach wyższych złoża jest wybierane komorami o szerokości 15 m, wysokości 15 m oraz długości około 100 ÷ 150 m. Sąsiednie komory rozdzielone są filarami o szerokości 15 m a pomiędzy kolejnymi międzypoziomami pozostawia się półkę o grubości 10 m.

Zagrożenia naturalne w kopalni

Spośród różnych naturalnych zagrożeń spotykanych w złożach solnych, największe niebezpieczeństwo dla eksploatacji, a także dla stałej izolacji odpadów w podziemnym składowisku stwarzają dopływy wód spoza złoża do wyrobisk kopalni. Górnotwór solny jest zasadniczo szczelny i wykazuje dobre właściwości izolacyjne dla gazów i cieczy.

Potencjalne zagrożenie wodne w kopalni mogą stwarzać:

- wody pochodzące z nadległych i otaczających złoża poziomów wodonośnych (pozaszłozowe),
- wody wewnątrz-złozowe.

Zagrożenie wodne w kopalni w wysadzie solnym jest zaklasyfikowane, zgodnie z przepisami (Dz.U. z 2014 poz. 1129) jako zagrożenie III stopnia (najwyższe), co wynika z braku warstwy izolującej między złożem a występującymi w jego otoczeniu zbiornikami wodnymi lub poziomami wodonośnymi. Biorąc jednak pod uwagę fakt stosowania technologii eksploatacji z pozostawianiem stropowej półki bezpieczeństwa o znacznej grubości, stanowiącą swego rodzaju izolację, można przyjąć, że zagrożenie to jest jedynie potencjalne.

MODEL TRZYSTOPNIOWEJ IZOLACJI ODPADÓW W SKŁADOWISKU

Model izolacji utworzono dla warunków geologiczno-górnictwowych i techniki eksploatacji w kopalni soli kamiennej założonej w wysadzie solnym, scharakteryzowanych w rozdziale poprzednim, przy następujących założeniach:

- składowisko będzie funkcjonować w ramach infrastruktury kopalni, w wyeksploatowanych rejonach, jako zespół lub zespoły wyrobisk,
- składowanie odpadów może współistnieć z wydobywaniem soli,
- proces składowania odpadów oraz likwidacja składowiska zostanie przeprowadzona w sposób zapewniający trwałą izolację odpadów,
- ostateczna likwidacja składowiska odbędzie się wraz z likwidacją kopalni.

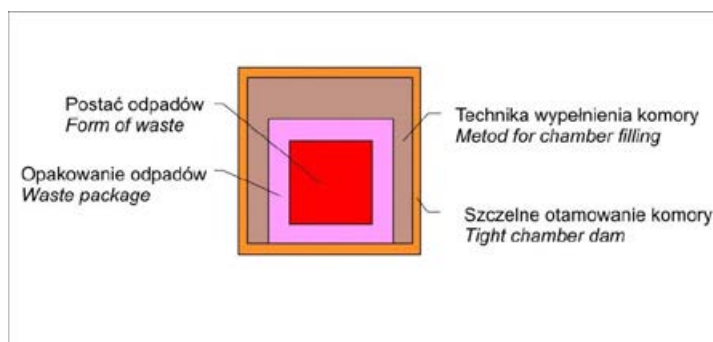
Trwałą izolację odpadów od wód podziemnych i biosfery może zapewnić system sztucznych i naturalnych barier. Rolę barier sztucznych odgrywają:

- postać odpadów,
- opakowania odpadów dobrane do rodzaju i właściwości odpadów, technologii transportu i technologii składowania,
- technologia składowania umożliwiająca szczelne wypełnienie komór (np. uszczelnianie podsadzką suchą),
- tamowanie komór składowiska,
- tamowanie i uszczelnienie obszaru składowiska,
- podsadzenie rejonu szybów,
- uszczelnienie i likwidacja szybów.

Barierami naturalnymi są:

- filary międzykomorowe i półki między poziomowe w obszarze składowiska,
- filary ochronne wyznaczone dla składowiska,
- filary graniczne wysadu,
- stropowa półka bezpieczeństwa,
- filary ochronne wokół szybów i wierceń z powierzchni.

Rodzaj barier i ich rola na poszczególnych etapach funkcjonowania składowiska są zróżnicowane: inne w fazie składowiska czynnego - gdy wyrobiska są wypełniane odpadami, inne przy zamykaniu poszczególnych grup wyrobisk i izolowaniu ich od pozostałych części kopalni, inne - w fazie ostatecznej likwidacji składowiska i następującej po niej fazie monitoringu. Poprzez wprowadzanie kolejnych barier w połączeniu z etapami funkcjonowania składowiska i kopalni utworzono model trzystopniowej izolacji odpadów (Korzeniowski i in., 2015).



Ryc. 1. Pierwszy (I) stopień izolacji odpadów – izolacja odpadów wewnątrz komory, schemat (Korzeniowski i in., 2015)

Fig. 1. The 1st stage of the waste isolation - the isolation within the chamber, a schematic diagram

Stopień I – obejmuje wszystkie środki techniczne stosowane w wyrobiskach górniczych (komorach) przeznaczonych do składowania, zapobiegające rozprzestrzenianiu się substancji szkodliwych do innych wyrobisk. Pierwszy stopień izolacji tworzą bariery sztuczne: postać odpadów, opakowanie (o ile technologia składowania wymaga opakowania), sposób wypełniania komór, zatamowanie komór po ich wypełnieniu (Ryc.1). Pierwszy stopień izolacji ma znaczenie głównie w czasie gdy składowisko jest czynne i przyjmuje odpady, ale zastosowane tu bariery odgrywają rolę także po jego zamknięciu.

Stopień II – obejmuje bariery naturalne i sztuczne służące do trwałej izolacji pola składowania wewnątrz kopalni.

Izolację tę tworzą:

- filary ochronne pola składowania wyznaczone w szczelnym górotworze oraz filary międzykomorowe i półki między poziomowe,
- środki geotechniczne izolujące trwale pole składowania od pozostałych części kopalni (tamy izolujące, uszczelnienie, podsadzka) (Ryc. 2).

Drugi stopień izolacji ma trwale zapobiec migracji substancji szkodliwych z obszaru składowiska do pozostałych wyrobisk kopalni. Odgrywa zasadniczą rolę po zamknięciu składowiska lub jego części.

Stopień III – obejmuje bariery naturalne i sztuczne służące do trwałej izolacji wyrobisk kopalni przed dopływem wód podziemnych i migracją substancji szkodliwych w otoczenie wysadu solnego podczas ostatecznej likwidacji podziemnego składowiska połączonej z likwidacją kopalni. Są to:

- stropowa półka bezpieczeństwa, filary graniczne, filary wokół szybów i otworów wiertniczych wykonanych z powierzchni,
- podsadzone rejonu szybów, uszczelnione i zlikwidowane szyby.

II i III stopień izolacji ma zapewnić trwałe zamknięcie szkodliwych substancji w wysadzie solnym i uniemożliwić ich kontakt z wodami podziemnymi i biosferą.

Koncepcję trzystopniowej izolacji odpadów w kopalni w wysadzie solnym przedstawiono na schemacie na Ryc. 3.

UWAGI KOŃCOWE

Poszczególne stopnie izolacji mają określone znaczenie na kolejnych etapach działania kopalni i podziemnego składowiska.

Pierwszy stopień izolacji ma, jak wspomniano, istotne znaczenie w fazie funkcjonowania składowiska. Ma on na celu umieszczenie odpadów w komorach składowych oraz odcięcie komór od otoczenia w taki sposób, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się zanieczyszczeń w kopalni. Przy odpowiedniej technice składowania może służyć polepszeniu geomechanicznej stateczności wyrobisk, co ma istotne znaczenie dla dalszej trwałej izolacji.

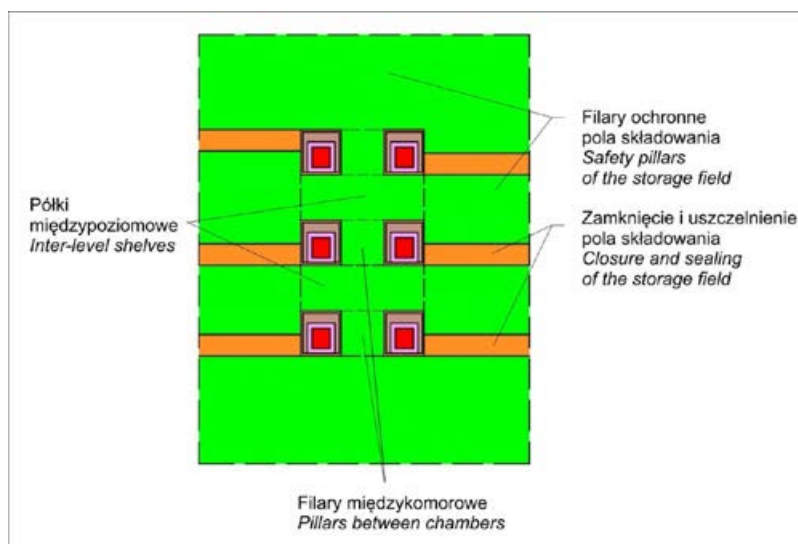
Drugi stopień izolacji polega na szczelnym oddzieleniu całego rejonu składowiska lub pól składowania. Ma on kluczowe znaczenie podczas likwidacji kopalni, polegającej na zatopieniu wyrobisk nasyconą solanką, ponieważ zapobiega skażeniu solanki.

Trzeci stopień izolacji odgrywa największą rolę w najdalszej perspektywie czasowej: po ostatecznej likwidacji składowiska połączonej z likwidacją kopalni. Jego zadaniem jest powstrzymanie migracji substancji szkodliwych poza wyrobiska zlikwidowanej kopalni w przypadku gdyby bariery sztuczne i naturalne poprzednich stopni zostały pokonane.

W proponowanej trzystopniowej izolacji odpadów w składowisku istotną rolę odgrywa trwałość zastosowanych barier. Część barier sztucznych może z czasem ulegać zniszczeniu (np. korozja stalowych pojemników), w wyniku czego substancje szkodliwe będą przez te bariery przenikać. Zadaniem kolejnych barier sztucznych i naturalnych jest zahamowanie ich migracji i rozprzestrzeniania się w górotworze.

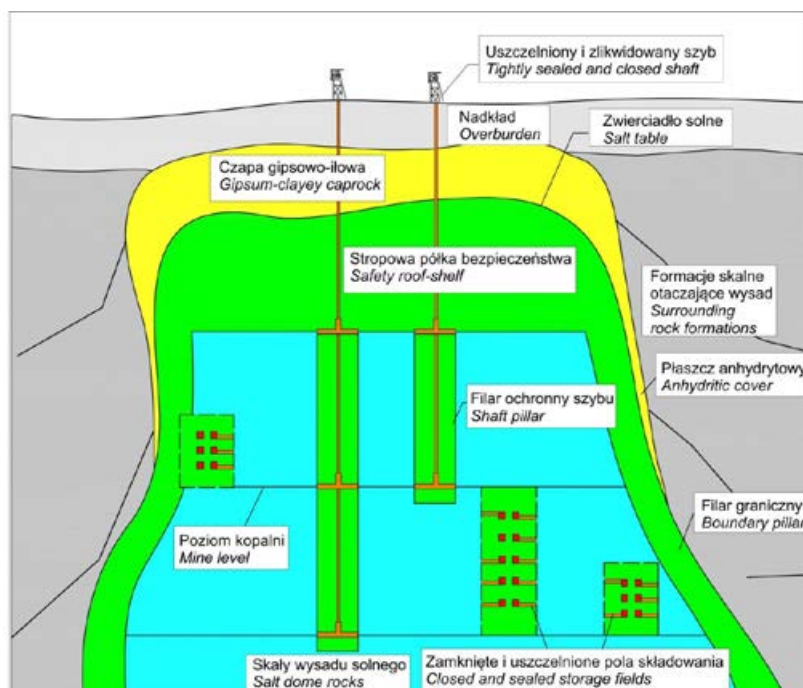
Przedstawiony model jest propozycją skutecznej i trwałej izolacji substancji szkodliwych w podziemnym składowisku odpadów założonym w kopalni w wysadzie solnym. Przedstawiając rodzaj, rolę i znaczenie poszczególnych elementów systemu izolującego, autorzy wskazują na ważny etap na drodze poszukiwania szczegółowych rozwiązań projektowych w konkretnych uwarunkowaniach geologiczno-górnictwowych i technicznych.

Praca została wykonana w ramach badań statutowych AGH nr 11.11.100.005



Ryc. 2. Drugi (II) stopień izolacji odpadów – izolacja pola składowania, schemat (Korzeniowski i in., 2015)

Fig. 2. The 2nd stage of the waste isolation - the isolation of the storage field, a schematic diagram



Ryc. 3. Trzeci (III) stopień izolacji odpadów – izolacja składowiska wraz z likwidacją kopalni, schemat (Korzeniowski i in., 2015)

Fig. 3. The 3rd stage of the waste isolation - the isolation of the underground storage facility together with the mine closure, a schematic diagram

SUMMARY

An intention to develop an underground waste storage facility in one of the salt mines was declared in Poland recently. The purpose of this paper is to present a waste isolation model designed for such a facility established in a salt dome where the geological/mining conditions are typical for Central Poland salt domes. The model is based on the experi-

ence collected from underground storages located in Western Europe and our knowledge of both local geological/mining conditions and salt extraction technologies applied in the salt domes existing in Central Poland.

Waste is isolated in the storage facility by both artificial (engineering or geotechnical structures) and natural barriers (tight rock mass). Artificial barriers concern the physical state of waste, waste packaging, storage technology allowing for tight waste packing in chambers, dams surrounding the site, damming and sealing of storage fields, backfilling of shaft areas, and shaft sealing and closure. Natural barriers include inter-chamber pillars and inter-level shelves in the storage area, safety pillars devised for the storage area, salt-dome border pillars, safety roof shelf above the mining area, and safety pillars around shafts and top-down boreholes.

By implementation of subsequent barriers in various stages of waste-storage and salt-mine operation, a model of three-stage waste isolation was developed (Korzeniowski et al., 2015).

Degree I entails all the technical measures applied in mine workings (chambers) designed for waste storage that prevent the penetration of hazardous substances into other workings. The first degree of insulation is created by artificial barriers: state of waste, packaging, method of chamber filling, and chamber damming after filling (Fig. 1). The first degree of insulation is important mainly when the storage facility is active and continues to receive waste, although the same barriers are also functional afterwards.

Degree II makes use of both natural and artificial barriers designed for durable isolation of a storage field underground. Containment is created by the following: protective pillars of the storage field established within tight rock mass, inter-chamber pillars and inter-level shelves, geotechnical measures designed to isolate permanently the storage field from the remaining parts of the salt mine (insulating dams, sealing, and backfilling) (Fig. 2). The second degree of insulation is intended to prevent permanently hazardous substance migration from the storage area to the surrounding mining areas. This type of insulation will be essential after the storage facility has been closed in whole or in part.

Degree III is composed of both natural and artificial barriers designed for durable isolation of salt-mine workings from the influx of underground waters and the hazardous sub-

stance migration into the salt-dome environs during the final closure of the underground waste storage facility, associated with the salt-mine liquidation. Containment is achieved by the following: roof safety shelf, salt-dome border pillars, protective pillars around shafts and boreholes, backfilled shaft areas, and sealed off and closed shafts.

The second and the third degrees of insulation should ensure a durable containment of hazardous substances within a salt dome and prevent any contacts between waste, underground waters, and biosphere.

A conception of three-degree waste insulation in a salt dome is presented in Fig. 3. The model of durable hazardous substance isolation in the underground waste storage established in a salt mine operating in a salt dome constitutes an important step in seeking detailed design solutions in specific geological, mining, and technical conditions.

LITERATURA / REFERENCES

- BEHNSEN H., 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* 19: 31-40.
- BREWITZ W., DROSTE J., STIER-FRIEDLAND G., 2008: Geological features of the Morsleben repository and their relevance for long-term safety. *W: Rempe Norbert T. (ed.), 2008: Deep Geologic Repositories. Geological Society of America. Series GSA Reviews in Engineering Geology* 19: 53-66.
- Dz.U. z 2014 poz. 1129 • Brzmienie od 1 stycznia 2015 do Rozporządzenie Ministra Środowiska 1) z dnia 29 stycznia 2013 r. w sprawie zagrożeń naturalnych w zakładach górniczych.
- KORZENIOWSKI W., POBORSKA-MŁYNARSKA K., KULIK M., 2015: Studium wykonalności składowania odpadów w pustkach poeksploatacyjnych Kopalni Soli „Kłodawa” S.A. Archiwum Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii AGH, Kraków oraz Kopalni Soli „Kłodawa” S.A.
- KUNSTMAN A., LEPIARZ J., POBORSKA-MŁYNARSKA K., URBAŃCZYK K., 2007: Wstępne koncepcje likwidacji Kopalni Soli Kłodawa: Likwidacja poprzez planowe zatopienie kopalni. Wstępna analiza możliwości wykorzystania wyrobisk kopalni do składowania odpadów. *Gospodarka Surowcami Mineralnymi. Przegląd Solny* 23 (1): 77-102.
- LANGER M., 2001: The role of the geological barrier in waste disposal projects. In: Marinos P.G. i in. (ed.): *Engineering Geology and the Environment 4, Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment*, 3617-3636.
- POBORSKA-MŁYNARSKA K., 2013: Assessment of the Geological Environment in Respect of Waste Disposal in Salt Mine Workings. *Geology, Geophysics&Environment* 39 (3): 223-232.