



Review of available methods of radioactive waste storage

Aleksandra PALA¹, Jolanta BIEGAŃSKA²

^{1,2} Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Katedra Technologii i Urządzeń Zagospodarowania Odpadów, Konarskiego 18, 44-100 Gliwice, tel. 32-237-15-57¹, tel. 32-237-12-13²
fax. 32-237-11-67, e-mail: Aleksandra.Pala@polsl.pl, Jolanta.Bieganska@polsl.pl

Abstract

The perspectives of activation of a nuclear power plant in Poland are forcing the government not only to prepare the infrastructure for power industry, but they also involve the need to review an available resource base in the country and define safety and efficiency of the radioactive waste storage.

The literature review presents the basis for radioactive waste management and characteristics of the main groups of radioactive waste. The article discusses two methods of waste disposal, which, depending on the activity, may be stored in the landfill surface and geological disposal.

Keywords: radioactive waste, landfill surface, underground disposal

Streszczenie

Przegląd dostępnych metod składowania odpadów promieniotwórczych

Perspektywy uruchomienia w Polsce elektrowni jądrowej wymuszają na rządzie nie tylko właściwe przygotowanie infrastruktury dla energetyki, ale wiążą się również z koniecznością analizy dostępnej na terenie kraju bazy surowcowej, a także określenia sposobu bezpiecznego i efektywnego składowania powstających odpadów promieniotwórczych.

W przeglądzie literatury przedstawiono podstawy gospodarki odpadami radioaktywnymi oraz dokonano charakterystyki głównych grup odpadów promieniotwórczych. W artykule omówiono dwie metody składowania powstających odpadów, które w zależności od aktywności, mogą być składowane w składowiskach powierzchniowych oraz głębinowych.

Słowa kluczowe: odpady promieniotwórcze, składowiska powierzchniowe, składowiska podziemne

1. Wstęp

Polska nie posiada żadnych doświadczeń związanych z energetyką jądrową. W latach 1982-1990 rozpoczęta została wprawdzie budowa Elektrowni Jądrowej Żarnowiec, jednakże w wyniku zmiany warunków ekonomicznych, długotrwałych protestów ekologów oraz braku akceptacji społecznej, która nasiliła się szczególnie po katastrofie w elektrowni atomowej w Czarnobylu, realizacja tego przedsięwzięcia została zaniechana.

Pomysł powrotu Polski do koncepcji rozwoju energetyki jądrowej pojawił się ponownie w roku 2005, kiedy to ówczesna Rada Ministrów uchwaliła dokument pod tytułem „Polityka energetyczna Polski do roku 2025” [1]. Stwierdzono w nim, iż istnieje konieczność ponownego rozpatrzenia możliwości budowy elektrowni atomowej, której pierwszy blok energetyczny miałby zostać oddany do eksploatacji około roku 2022.

Jednym z problemów związanych z energetyką jądrową jest gospodarka odpadami promieniotwórczymi oraz wypalonym paliwem jądrowym [2]. Jeszcze nie tak dawno, znaczna ilość odpadów niskoaktywnych, powstających między innymi w procesach wstępnej przeróbki rudy uranowej, ze względu na brak odpowiednich uwarunkowań prawnych, wprowadzana była bezpośrednio do środowiska, powodując jego trwałe skażenie. Wymiar poniesionych wówczas strat miał znaczenie nie tylko środowiskowe, ale również społeczne,

przejawiające się między innymi zmniejszeniem poparcia społeczeństwa dla energetyki jądowej [2, 3]. W celu zachowania równowagi pomiędzy rozwojem cywilizacyjnym świata, a środowiskiem przyrodniczym koniecznym jest zatem prowadzenie racjonalnej gospodarki odpadami promieniotwórczymi, która realizowana będzie zgodnie z zasadą zrównoważonego rozwoju.

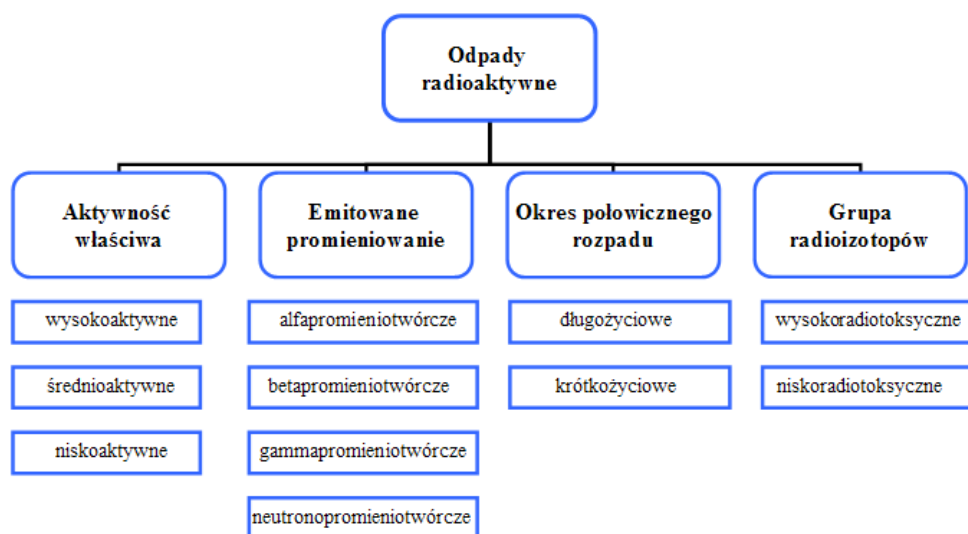
Zgodnie z koncepcją zrównoważonego rozwoju, gospodarka odpadami, pochodzącymi zarówno z procesów wydobywania i przeróbki rudy uranowej, jak również odpadów powstających w trakcie eksploatacji bloków jądowych, powinna być prowadzona w sposób pozwalający na [3]: zapewnienie fizycznej, chemicznej, geograficznej oraz radiologicznej stabilności odpadów, pełną izolację środowiskową odpadów, poprzez zastosowanie różnego rodzaju barier, minimalizację ilości powstających odpadów oraz zapewnienie możliwości ich ponownego wykorzystania.

2. Klasyfikacja odpadów promieniotwórczych

Zgodnie z Dyrektywą Europejską z dnia 19 lipca 2011 roku, odpadami promieniotwórczymi nazywa się wszelkiego rodzaju materiały promieniotwórcze, występujące w stanie stałym, ciekłym i gazowym, których dalsze wykorzystywanie nie jest przewidywane i rozpatrywane przez dany kraj, ani przez żadną osobę fizyczną czy prawną [4]. Przez gospodarowanie odpadami promieniotwórczymi, w myśl Dyrektywy, rozumie się natomiast wszelkiego rodzaju działania, których podejmowanie związane jest z użytkowaniem, przetwarzaniem, kondycjonowaniem, przechowywaniem oraz trwałym składowaniem odpadów, z wyłączeniem ich transportu poza terenem obiektu.

Podstawowa klasyfikacja odpadów promieniotwórczych oparta jest na ich stanie skupienia, natomiast nie stanowi ona jedyne kryterium ich podziału.

Rysunek 2.1. przedstawia klasyfikację odpadów promieniotwórczych ze względu na poszczególne kategorie.



Rysunek 2.1. Klasyfikacja odpadów promieniotwórczych ze względu na poszczególne kategorie (opracowanie własne).

Ze względu jednak na fakt, iż na terenie Unii Europejskiej każde z państw członkowskich określa indywidualnie, w stosownych rozporządzeniach, sposób kwalifikowania odpadów promieniotwórczych do poszczególnych grup, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA), chcąc ujednoczyć system klasyfikacji odpadów promieniotwórczych, dokonała podziału odpadów na sześć grup, do których zalicza się [5, 6]: odpady wyłączone spod kontroli dozorowej, odpady bardzo krótkożyciowe, odpady bardzo niskoaktywne, odpady niskoaktywne, odpady średnioaktywne oraz odpady wysokoaktywne.

Odpady wyłączone spod kontroli dozorowej (EW – Exempt Waste), ze względu na bardzo małą zawartość radionuklidów, nie wymagają stosowania żadnych barier ochronnych. Mogą być składowane w tradycyjnych składowiskach odpadów, bądź poddawane procesowi recyklingu. Niewielkie stężenia promieniotwórczych

izotopów sprawiają, iż odpady typu EW są wyłączane spod dozoru radiologicznego, a niejednokrotnie w ogóle nie są uwzględniane w kontekście odpadów niebezpiecznych.

Kwestia określenia dopuszczalnej wartości stężenia radionuklidów, w przypadku odpadów wyłączonych spod kontroli dozorowej, jest sprawą rozpatrywaną na arenie międzynarodowej.

Odpady bardzo krótkożyciowe (VSLW – Very Short Lived Waste), do grupy odpadów bardzo krótkożyciowych należą odpady zawierające radionuklidy, o bardzo krótkim czasie połowicznego rozpadu, nie przekraczającym zwykle 100 dni. Odpady typu VSLW są to często odpady wykorzystywane w celach naukowych i badawczych, które znajdują zastosowanie również w medycynie oraz w przemyśle. Do odpadów bardzo krótkożyciowych zalicza się odpady zawierające między innymi izotopy ^{192}Ir oraz $^{99\text{m}}\text{Tc}$ [5, 7]. Gospodarka odpadami bardzo krótkożyciowymi polega na ich magazynowaniu w pojemnikach do momentu, aż poziom promieniotwórczych radionuklidów spadnie poniżej wartości niebezpiecznych. Czas składowania odpadów typu VSLW nie przekracza zwykle okresu kilku lat. Po okresie kondycjonowania odpady te mogą być traktowane jako odpady konwencjonalne.

Odpady bardzo niskoaktywne (VLLW – Very Low Level Waste) stanowią grupę odpadów promieniotwórczych, które ze względu na zawartość w nich pewnych ilości radionuklidów, wymagają rozpatrzenia z punktu widzenia bezpieczeństwa i ochrony radiologicznej. Odpady typu VLLW powstają podczas eksploatacji i likwidacji obiektów jądrowych, a także otrzymywane są w trakcie wydobywania i przetworstwa rudy uranowej. Do grupy odpadów bardzo niskoaktywnych zalicza się także gleby oraz gruz, zawierające niskie stężenia pierwiastków promieniotwórczych. Odpady typu VLLW mogą być składowane wraz z innymi odpadami niebezpiecznymi w składowiskach powierzchniowych.

Odpady niskoaktywne (LLW – Low Level Waste), ze względu na obecność w nich dwóch grup radioizotopów, znajdujących się na różnych poziomach koncentracji, mogą być składowane w składowiskach płytkich i średniogłębokich (do głębokości 30 metrów) w szczelnych pojemnikach, przez okres nawet do kilkuset lat. Do odpadów niskoaktywnych można zaliczyć wszelkiego rodzaju materiały i sprzęty laboratoryjne, odzież ochronną a także narzędzia.

Odpady średnioaktywne (ILW – Intermediate Level Waste), ze względu na obecność w nich długożyciowych radioizotopów alfa-promieniotwórczych, nie mogą być przechowywane w tradycyjnych składowiskach powierzchniowych. Odpady tego typu magazynowane są w składowiskach, zlokalizowanych na głębokości od kilkudziesięciu do kilkuset metrów poniżej powierzchni terenu, co pozwala między innymi na ograniczenie wpływu czynników środowiskowych na składowane odpady, a także zapewnia ich całkowitą izolację od środowiska przyrodniczego. Do grupy odpadów średnioaktywnych zalicza się: odpady pochodzące z procesów konwersji i wzbogacania rudy uranowej, oraz produkcji prętów paliwowych, zużyte materiały sorpcyjne, a także fragmenty konstrukcji urządzeń i instalacji bloku energetycznego.

Odpady wysokoaktywne (HLW – High Level Waste) zawierają znaczne ilości krótkożyciowych oraz długożyciowych izotopów promieniotwórczych. Ze względu na emisję dużych ilości ciepła, uwalnianych w trakcie promieniotwórczego rozpadu radionuklidów, odpady typu HLW muszą być składowane w głębokich formacjach geologicznych, na głębokościach do kilkuset metrów pod powierzchnią terenu, w szczelnych i wytrzymałych pojemnikach. Wysoka radioaktywność odpadów HLW sprawia, iż w wielu miejscach na świecie przeprowadzane są procesy recyklingu wypalonego paliwa, które przyczyniają się nie tylko do odzysku produktów rozszczepienia, ale również pozwalają na zmniejszenie ilości i aktywności powstających odpadów wysokoaktywnych. Jako odpady wysokoaktywne wymienia się: wypalone paliwo jądrowe, odpady powstające w wyniku pracy reaktora, a także podczas przerobu zużytego paliwa [8].

3. Składowanie odpadów promieniotwórczych

Składowanie odpadów promieniotwórczych, pochodzących z energetyki jądrowej, jak również z przemysłu medycznego, badawczego oraz wojskowego, a także zapewnienie ich całkowitej izolacji od środowiska przyrodniczego, jest podstawowym zagadnieniem interdyscyplinarnym, o wymiarze naukowo-technicznym [9].

Racjonalna gospodarka odpadami promieniotwórczymi nastawiona jest przede wszystkim na minimalizację ilości powstających odpadów, zwiększenie stopnia ich utylizacji i recyklingu, a także bezpieczne składowanie.

Wyróżnia się dwie metody składowania odpadów promieniotwórczych [10, 11]: metodę składowania przejściowego, polegającą na okresowym magazynowaniu odpadów, a także metodę składowania ostatecznego, stanowiącą końcowy etap unieszkodliwiania odpadów.

3.1. Składowanie odpadów w składowiskach powierzchniowych

W składowiskach powierzchniowych magazynowane są krótkożyciowe odpady niskoaktywne i średnioaktywne, pochodzące najczęściej z ośrodków naukowo-badawczych oraz przemysłu medycznego [11]. Wyróżnia się dwa rodzaje składowisk powierzchniowych [2]: składowiska naziemne, posiadające betonowe komory, które częściowo zagłębione są w ziemi, a także składowiska płytkie podziemne, umiejscowione pod powierzchnią terenu, na głębokości do 200 m. Wybór miejsca budowy składowiska powierzchniowego podyktowany jest wykonaniem szeregu specjalistycznych badań, pozwalających na określenie warunków hydrologicznych, hydrogeologicznych oraz geotechnicznych, panujących na danym terenie. Składowiska powierzchniowe lokalizowane mogą być między innymi w, przystosowanych do tego celu, starych fortach, bunkrach, magazynach oraz innych obiektach, zapewniających pełną izolację gromadzonych w nich odpadów.

Zgodnie z Rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 roku, wybór lokalizacji powierzchniowego składowiska odpadów promieniotwórczych musi być poprzedzony wykonaniem badań, określających między innymi [12]: poziom zwierciadła wód gruntowych, poziom zwierciadła wód rzek lub jezior znajdujących się w pobliżu składowiska, drogę migracji zanieczyszczeń do biosfery lub innych zbiorników podziemnych wód użytkowych, a także częstość występowania zagrożeń, związanych z podtopieniami i powodzią.

W Polsce, składowiskiem powierzchniowym, zajmującym się przechowywaniem odpadów promieniotwórczych jest Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w miejscowości Różan. Znajdujące się na terenie dawnego fortu rosyjskiego składowisko pozwala na składowanie w nim krótkożyciowych odpadów niskoaktywnych i średnioaktywnych oraz na okresowe przechowywanie długożyciowych odpadów alfa-promieniotwórczych.

W KSOP zestalone odpady nisko i średnioaktywne, zgromadzone w hobokach metalowych oraz dwustronnie ocynkowanych bębnach stalowych, składowane są w starych bunkrach betonowych fortu numer 2, 3 i 3a oraz w nowo wybudowanym obiekcie numer 8 [13]. Po wykorzystaniu wydzielonej przestrzeni, odpady zalewane są warstwą betonu, która ma na celu ograniczenie poziomu emisji promieniowania.

Odpady długożyciowe są natomiast czasowo składowane w komorach obiektu numer 1, z których zostaną przeniesione do nowego składowiska w momencie zamknięcia KSOP w Różanie.

3.2. Składowanie odpadów promieniotwórczych w składowiskach ostatecznych

W procesie unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych istotną rolę odgrywają podziemne składowiska odpadów, które w porównaniu ze składowiskami powierzchniowymi przyczyniają się w większym stopniu do zmniejszenia zagrożenia, związanego ze skażeniem wód powierzchniowych i podziemnych, gwarantują większe bezpieczeństwo i kontrolę magazynowanych odpadów, a także ich lepszą izolację przed działaniem zjawisk atmosferycznych. Składowiska podziemne przyczyniają się również do zapewnienia stałych warunków temperaturowych i wilgotnościowych składowanych odpadów [14]. Zgodnie z obowiązującymi wymogami, obszar przeznaczony na podziemne składowisko odpadów promieniotwórczych powinien odznaczać się niską aktywnością sejsmiczną, jednorodnością w budowie geologicznej, długotrwałą statecznością geomechaniczną, a także statecznością barier geologicznych, otaczających składowisko [10, 15].

Składowiska ostateczne, zwane również głębokimi bądź głębinowymi, lokalizowane są najczęściej na głębokościach od 400 do 1 100 m i służą do przechowywania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych [2]. Utworami geologicznymi, stwarzającymi warunki do lokowania tego typu odpadów mogą być [14, 16]: złoża soli kamiennej, skały magmowe oraz kompleksy niektórych skał osadowych. Wysokoaktywne odpady promieniotwórcze mogą być składowane również w wyrobiskach konwencjonalnych kopalń podziemnych, a także na dnie oceanów i mórz.

3.2.1. Składowanie odpadów w wyrobiskach podziemnych

Koncepcja składowania odpadów promieniotwórczych w kopalniach podziemnych zakłada wykorzystanie, pozostałych po eksploatacji kopaliny, wyrobisk pogórnich, ich rozbudowę i przystosowanie do magazynowania odpadów [17].

Spośród wielu złóż i struktur geologicznych, spełniających warunki do lokalizacji podziemnego składowiska odpadów promieniotwórczych, na szczególną uwagę zasługują złoża soli, co związane jest z ich naturalnym brakiem kontaktu z wodami podziemnymi, dobrą wytrzymałością na ściskanie, wysokimi właściwościami reologicznymi, dobrym przewodnictwem termicznym, a także wysoką nieprzepuszczalnością [18]. Przeznaczone

do podziemnego składowania odpady mogą być magazynowane w kawernach solnych bądź składowane w wielkogabarytowych komorach [10].

Powstałe, w wyniku zastosowania technik ługowniczych, podziemne kawerny są z reguły wielkogabarytowymi wyrobiskami, nadającymi się do magazynowania wszelkiego typu odpadów promieniotwórczych [10, 17]. Istotnym problemem, związanym z budową składowiska tego typu, jest konieczność dostarczenia dużej ilości wody, wykorzystywanej do procesu ługowania oraz zapewnienie zbytu powstającym solankom [10]. Przeznaczone do składowania odpady dostarczane są do wnętrza składowiska za pomocą szybu, a następnie gromadzone na jego dnie. Po wypełnieniu, składowisko zamykane jest przy użyciu tam i zamknięć. Możliwość utraty szczelności podziemnych kawern solnych, a także ograniczona możliwość monitorowania procesów składowania odpadów promieniotwórczych sprawiają, że magazynowanie odpadów w tego typu składowiskach nie jest rozwiązaniem typowym. Znaczącym rozwiązaniem technologicznym, jest natomiast magazynowanie odpadów promieniotwórczych w wielkogabarytowych komorach podziemnych.

Stanowiące system połączonych chodników i komór, składowiska przeznaczone są do magazynowania wszelkiego rodzaju odpadów niebezpiecznych, w tym również odpadów promieniotwórczych. Zdeponowane w specjalnych pojemnikach betonowych i stalowych, odpady promieniotwórcze opuszczane są do składowiska szybem wentylacyjnym, a następnie transportowane do miejsca ostatecznego składowania wyrobiskami korytarzowymi [10, 15]. Podstawową jednostką każdego składowiska jest pole rejonowe w skład, którego wchodzi poszczególne komory. Po wypełnieniu komory odpadami jest ona likwidowana, w wyniku jej podsadzenia podsadzką suchą. Likwidacja wypełnionego pola rejonowego, polega natomiast na jego szczelnej izolacji tamami rejonowymi, wykonanymi z drobno zmielonego anhydrytu oraz betonu. Zadaniem tam jest zamknięcie poszczególnych rejonów składowiska i uniemożliwienie ich kontaktu z polem eksploatacyjnym [15].

3.2.2. Składowanie odpadów na dnie mórz i oceanów

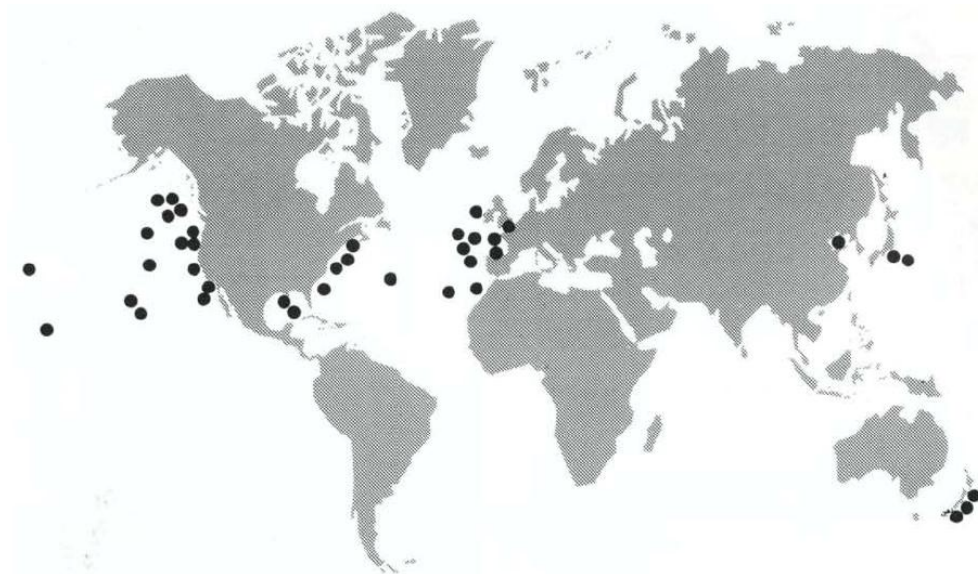
Przez wiele lat składowanie odpadów na dnie mórz i oceanów było jedną z najtańszych metod unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych [19]. Odpady składowane były najczęściej w rejonie Oceanu Atlantyckiego oraz na Pacyfiku. Szacuje się, że w latach 1946 – 1982 na dnie oceanów, ulokowane zostały odpady promieniotwórcze o łącznym ładunku wynoszącym 63 PBq [16].

Po roku 1982, z uwagi na rosnący sprzeciw społeczeństwa, większość państw zaniechała praktyki zatapiania odpadów promieniotwórczych na dnie oceanów i mórz.

Obecnie, ze względu na wzmożony rozwój energetyki jądrowej, coraz częściej rozważane jest ponowne wykorzystanie dna oceanów jako składowiska odpadów wysokoaktywnych.

Idea składowania odpadów promieniotwórczych na dnie oceanu polega na umieszczeniu ich w głębokich odwiertach, których głębokość może sięgać nawet kilkuset metrów. Następnie, do przygotowanych otworów, wprowadzane są rury okładzinowe, w których umieszczane są kanistry z wypalonym paliwem jądrowym. Poszczególne kanistry oddzielane są między sobą korkami iłowymi, zbudowanymi z minerałów o dużej pojemności sorpcyjnej. Z przeprowadzonych analiz wynika, że najwyżej położony kanister znajdowałby się około kilkudziesięciu metrów poniżej dna oceanu [19, 20]. Wykorzystanie, jako warstwy oddzielającej poszczególne zbiorniki odpadów, iłów i mułów – materiałów charakteryzujących się specyficznymi właściwościami sorpcyjnymi sprawia, że w momencie pojawienia się ewentualnego wycieku, zawarte w nim radionuklidy, zostaną w większości zaabsorbowane przez warstwę rozdzielającą [19].

Rysunek 3.1. przedstawia lokalizację „podwodnych” składowisk odpadów promieniotwórczych [16].



Rysunek 3.1. Lokalizacje „podwodnych” składowisk odpadów promieniotwórczych [16].

4. Podsumowanie

Podstawowym zadaniem w ochronie środowiska jest właściwe gospodarowanie powstającymi odpadami. Odpady niebezpieczne, w tym również odpady promieniotwórcze, stanowią szczególne zagrożenie dla środowiska przyrodniczego, z uwagi na możliwość skażenia wód powierzchniowych i podziemnych, powietrza oraz powierzchni ziemi.

Racjonalna gospodarka odpadami promieniotwórczymi powinna być prowadzona zgodnie z zasadą ALARA (As Low As Reasonably Achievable). W myśl tej zasady wszelkie prace, które wiążą się z wykorzystaniem promieniowania jonizującego, w tym również składowanie odpadów promieniotwórczych, powinny być prowadzone w sposób, pozwalający na ograniczenie do minimum ich negatywnego wpływu na środowisko przyrodnicze, z racjonalnym uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych i socjalnych.

Powstające odpady promieniotwórcze, w zależności od aktywności, składowane są w składowiskach powierzchniowych (odpady niskoaktywne i średnioaktywne) oraz w składowiskach podziemnych (odpady wysokoaktywne). Perspektywnym jest również magazynowanie odpadów w odwiertach, wydrążonych w dnie oceanów.

W Polsce jedynym działającym składowiskiem odpadów promieniotwórczych jest KSOP w Różanie. Ze względu jednak na jego stopniowe zapełnianie się, koniecznym jest wyznaczenie lokalizacji dla nowego składowiska odpadów nisko, średnio i wysokoaktywnych. Na podstawie przeprowadzonych badań wytypowane zostały następujące miejsca składowania odpadów: Łanięta, Damasławek, Kłodawa, Jarocin, Pogorzel. W chwili obecnej dla wymienionych lokalizacji, prowadzone są szczegółowe prace badawcze, mające na celu wybór optymalnego miejsca gromadzenia odpadów promieniotwórczych.

Literatura

1. Obwieszczenie Ministra Gospodarki i Pracy, z dnia 1 lipca 2005 roku, w sprawie polityki energetycznej państwa do 2025 roku, M.P. 2005 nr 42 poz.562.
2. Minkiewicz T. 2010 - Składowanie odpadów promieniotwórczych w Polsce. XII International PhD Workshop, 23-26 października 2010.
3. Franks D.M., Boger D.V., Cote C. M., Mulligan D.R. 2011 - Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. *Resources Policy*, 36: 114-122.
4. Dyrektywa Rady 2011/70/EURATOM, z dnia 19 lipca 2011 roku, ustanawiająca ramy wspólnotowe w zakresie odpowiedzialnego i bezpiecznego gospodarowania wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi, *Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej*, 2 sierpnia 2011.

5. IAEA. 2009 - Classification of radioactive waste. General Safety Guide. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, GSG-1: 1-52.
6. Włodarski J. 2008 - Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych – perspektywy dla energetyki jądowej. Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa.
7. Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency. 2010 - Classification of radioactive waste. Safety Guide. Radiation Protection Series, 20: 1-34.
8. Dobrzyński L., Droste E., Wołkiewicz R., Adamowski Ł., Trojanowski W. 2010 - Spotkanie z promieniotwórczością. Instytut Problemów Jądowych im. Andrzeja Sołtana w Świerku.
9. Ślizowski K., Lankof L. 2009 - Geologiczne uwarunkowania składowania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w złożach soli w Polsce. Przegląd Geologiczny, 57(9): 829-838.
10. Kłeczek Z., Zeljaś D. 2005 - Podziemne składowanie odpadów niebezpiecznych w Polsce aktualnym wyzwaniem dla inżynierii środowiska. Maszyny Górnicze, (1): 42-48.
11. Jurczyszak-Pawlica K. 2004 - Magazynowanie odpadów promieniotwórczych. Prace Naukowe Instytutu Górnictwa Politechniki Wrocławskiej, 107(39): 225-234.
12. Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002, w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądowego, Dz.U. 2002 nr 230 poz. 1925.
13. Tomczak W. 1998 - Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie. Postęp Techniki Jądowej, 41(4): 25-36.
14. Przybycin A., Uliasz-Misiak B., Zawisza L. 2011 - Sposoby użytkowania górotworu na świecie i w Polsce. Przegląd Geologiczny, 59(5): 417-425.
15. Kłeczek Z., Zeljaś D. 2010 - Ekologiczne i bezpieczne składowisko odpadów niebezpiecznych w strukturze solnej LGOM. Przegląd Górniczy, (6): 9-17.
16. Calmet D.P. 1989 - Ocean disposal of radioactive waste: Status report. IAEA Bulletin, 4: 47-50.
17. Poborska-Młynarska K. 2003 - Przegląd możliwości wykorzystania podziemnych wyrobisk górniczych do magazynowania substancji użytecznych i składowania odpadów. Technika Poszukiwań Geologicznych, (5): 65-68.
18. Przewłocki K., Ślizowski K. 2004 - Składowanie wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych w formacjach geologicznych. Gospodarka Surowcami Mineralnymi, 20(1): 39-63.
19. Rao K. R. 2001 - Radioactive waste: The problem and its management. Current Science, 81(12): 1534-1546.
20. Dobrzyński L., Strupczewski A. 2007 - Energia jądowa i jej wykorzystanie. Instytut Problemów Jądowych im. A. Sołtana w Świerku.

