

ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE – KILKA INFORMACJI O SKŁADOWANIU ODPADÓW I ZAMYKANIU SKŁADOWISK

Paulina Sampławska

Wstęp

Klasyfikacja odpadów promieniotwórczych

Zgodnie z definicją ustawową za odpady promieniotwórcze uznaje się „materiały stałe, ciekłe lub gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub materiały skażone tymi substancjami, których wykorzystanie jest niecelowe lub niemożliwe”.¹ Odpady promieniotwórcze powstają w wyniku stosowania radioizotopów w przemyśle, medycynie i badaniach naukowych, podczas produkcji otwartych i zamkniętych źródeł promieniotwórczych, w toku eksploatacji reaktorów badawczych służących m. in. do produkcji radioizotopów, a przede wszystkim w energetyce jądrowej. Odpady te występują zarówno w postaci ciekłej, jak i stałej. Grupę odpadów ciekłych stanowią głównie wodne roztwory i zawiesiny substancji promieniotwórczych. Do grupy odpadów stałych zaliczane są zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze, zanieczyszczone substancjami promieniotwórczymi środki ochrony osobistej (gumowe rękawice, odzież ochronna, obuwie), materiały i sprzęt laboratoryjny (szkło, elementy aparatury, lignina, wata, folia), zużyte narzędzia i elementy urządzeń technologicznych (zawory, fragmenty rurociągów, części pomp) oraz wykorzystane materiały sorpcyjne i filtracyjne stosowane w procesie oczyszczania roztworów promieniotwórczych bądź powietrza uwalnianego z reaktorów i pracowni izotopowych (zużyte jonity, szlamy postrącenio-we, wkłady filtracyjne, itp.).

Z uwagi na rodzaj wysyłanego promieniowania i typ odpadów można wyróżnić ich następujące kategorie:

- beta i gamma promieniotwórcze (niskoaktywne, średnioaktywne i wysokoaktywne),
- alfapromieniotwórcze (niezależnie od aktywności),
- zamknięte źródła promieniotwórcze (niskoaktywne, średnioaktywne i wysokoaktywne).

Zgodnie z ustawą Prawo atomowe (art. 48) kwalifikacji odpadów promieniotwórczych dokonuje kierownik jednostki organizacyjnej, na terenie której znajdują się odpady, a w momencie przyjmowania odpadów kierownik jednostki organizacyjnej przyjmującej odpady promieniotwórcze. Kwalifikacji odpadów promieniotwórczych może dokonać Prezes Państwowej Agencji Atomistyki w przypadku:

- rozbieżności między kwalifikacją dokonaną przez ww. osobę, stwierdzenia nieprawidłowości w kwalifikacji dokonanej przez ww. osobę.

Postępowanie (gospodarka) z odpadami promieniotwórczymi obejmuje: odbiór, transport, przetwarzanie, magazynowanie okresowe i składowanie odpadów, jak również budowę składowisk, monitoring środowiska w czasie eksploatacji i po zamknięciu oraz zamknięcie. Postępowanie to powinno być prowadzone w taki sposób, ażeby narażenie pracowników na promieniowanie jonizujące utrzymane zostało w akceptowalnych granicach i nie powodowało żadnego wpływu na środowisko.

Przechowywanie odpadów promieniotwórczych

Nieprzetworzone odpady promieniotwórcze, przed ich składowaniem, można poddać szeregowi procesów, takich jak przenoszenie, przetwarzanie, czy kondycjonowanie (trudno znaleźć polski odpowiednik tego określenia zawierający w sobie element przetwarzania i przygotowywania do składowania). Odpady poddawane takim procesom mogą podlegać przechowywaniu, którego celem może być ułatwienie realizacji następnego etapu postępowania. Przechowywanie takie może ponadto pełnić rolę bufora pomiędzy kolejnymi krokami postępowania z odpadami. Zatem odpady promieniotwórcze są przechowywane w postaci przetworzonej i nieprzetworzonej, również ich okres przechowywania może być różny.

Istnieje wiele powodów uzasadniających przechowywanie odpadów promieniotwórczych przed ich składowaniem. Poniżej podano kilka przykładów:

- umożliwienie rozpadu radioizotopów krótkożyciowych do poziomu, przy którym odpady promieniotwórcze mogą być wyłączone spod kontroli dozоровej lub można zezwolić na ich zwolnienie, usuwanie lub ponowne wykorzystanie albo recykling (jest to często spotykane w szpitalach, ośrodkach onkologicznych i laboratoriach medycznych, np.: w miejscach, gdzie stosowane są terapie jodowe),
- zebranie i zgromadzenie wystarczającej ilości odpadów promieniotwórczych przed ich przekazaniem do innego obiektu w celu poddania obróbce i kondycjonowaniu

(w przypadku Polski dotyczy to np.: ZUOP),

- zebranie i zgromadzenie wystarczającej ilości odpadów promieniotwórczych przed ich składowaniem (ZUOP – w obiekcie Magazyn Spedycyjny Odpadów Promieniotwórczych),
- zmniejszenie liczby rozpadających się atomów co pociąga za sobą zmniejszenie generowanego ciepła wytwarzanego przez odpady wysokoaktywne przed przekazaniem ich do dalszego postępowania,
- zapewnienie długookresowego przechowywania odpadów promieniotwórczych w krajach, które nie posiadają odpowiednich składowisk (dobrym przykładem jest tu przedsiębiorstwo COVRA w Holandii, eksploatujące przechowalnik odpadów promieniotwórczych przystosowanych do długookresowej (ok. 120 lat) eksploatacji).

Odpowiednio przygotowane (zestalone i opakowane) odpady nisko- i średnioaktywne (o okresie połowicznego rozpadu poniżej 30 lat (czas, w którym aktywność zmniejsza się dwukrotnie) zazwyczaj składowuje się w tzw. składowiskach powierzchniowych zapewniających izolowanie składowanych materiałów w okresie 300 lat, co dla tego rodzaju odpadów jest całkowicie wystarczające i gwarantujące bezpieczeństwo środowiska.

Odpady wysokoaktywne i alfapromieniotwórcze (w tym wypalone paliwo jądrowe) muszą być składowane w głębokich formacjach geologicznych. Ze względu na długi okres – rzędu tysięcy lat – połowicznego rozpadu niektórych substancji promieniotwórczych zawartych w tych odpadach sposób składowania winien zapewniać skuteczne ich izolowanie od biosfery w czasie mierzonym w skali geologicznej.

W dalszej części artykułu skupiono się na informacjach dotyczących lokalizacji składowisk, składowaniu odpadów promieniotwórczych w Polsce oraz problemach zamykania składowisk.

Proces lokalizacji składowisk odpadów promieniotwórczych

Proces lokalizacji składowisk odpadów promieniotwórczych (SOP) polega na odpowiednim doborze warunków geologicznych (bariera geologiczna), konstrukcji składowiska (bariery inżynierskie) i kryteriów akceptacji odpadów do składowania. W procesie lokalizacji wyróżnia się 4 etapy:

- koncepcji i planowania oraz przeglądu materiałów o historii wytypowanej lokalizacji,
- badań regionalnych,
- szczegółowych badań obszarów wytypowanych,
- szczegółowych badań dokumentujących poprawność wyboru lokalizacji.

Zakres badań w poszczególnych etapach jest częściowo powtarzalny. Różni się jednak skalą i stopniem uszczegółowienia informacji oraz przeprowadzanych analiz, a także udziałem badań terenowych, których zakres wzrasta wraz z kolejną fazą dokumentowania. Do celów realizacji dwóch pierwszych etapów należy wyodrębnienie obszarów i formacji geologicznych perspektywicznych dla dalszych, bardziej szczegółowych badań studialnych. Analiza na tym etapie ma

generalnie charakter screening'u negatywnego, tzn. badanie na wytypowanych obszarach warunków wykluczających lub ograniczających lokalizację. Pierwszy etap procesu lokalizacji przeprowadza się zazwyczaj w oparciu o istniejącą dokumentację budowy geologicznej kraju. Dopiero w następnych etapach występują badania terenowe. Wymagania stawiane lokalizacjom powierzchniowego SOP to:

- proste warunki środowiska umożliwiające wiarygodne udokumentowanie bezpieczeństwa radiologicznego i monitorowanie oddziaływania obiektu na otoczenie,
- stabilność procesów ewolucji obszaru, będąca podstawą predykcji i warunkiem dopuszczenia w analizach jedynie stopniowego uwalniania się radionuklidów, w wyniku wolnego procesu degradacji barier inżynierskich,
- warunki hydrologiczne i hydrogeologiczne minimalizujące zagrożenia wodne dla systemu składowiska.

Wybór lokalizacji powinien uwzględniać te cechy geologiczne rejonu, które umożliwiają zminimalizowanie ujemnych skutków w przypadkach obniżenia skuteczności barier inżynierskich. Należy podkreślić, że odpowiednia lokalizacja pod względem geologicznym w sposób istotny wpływa na koszty budowy, a także częściowo eksploatacji obiektu.

Ocena bezpieczeństwa na etapie lokalizacji powinna wykazać, że wpływ składowiska na otoczenie mieści się w granicach ustalonych w prawie. W przeciwnym razie lokalizacja nie może być zaakceptowana. Minimalny zakres dokumentacji dołączanej do wniosku o wydanie zezwoleń wymaganych w ustawie Prawo atomowe dotyczących składowisk, określa załącznik nr 2 do rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie dokumentów wymaganych przy składaniu wniosku o wydanie zezwolenia na wykonywanie działalności związanej z narażeniem na działanie promieniowania jonizującego albo przy zgłoszeniu wykonywania tej działalności. Przygotowując dokumentację bezpieczeństwa należy wziąć pod uwagę charakterystyki odpadów promieniotwórczych przewidzianych do składowania i określić główne izotopy mające wpływ na ocenę zagrożenia w okresie normalnej eksploatacji składowiska oraz po jej zakończeniu i zamknięciu obiektu.

Podstawą dla kryteriów akceptacji odpadów, to znaczy kryteriów jakie muszą być spełnione, żeby odpady mogły być składowane w określonym składowisku, powinna być analiza bezpieczeństwa całego systemu składowania odpadów, tj. charakterystyki miejsca (lokalizacji) i rozwiązań technicznych (projektowych) składowiska oraz formy odpadów i rodzaju ich opakowań. Zgodnie z zaleceniami MAEA, kryteria akceptacji odpadów powinny być następujące:

- 1. Zawartość radionuklidów** – rodzaj i zawartość radionuklidów w pojemniku na odpady powinna być znana z taką dokładnością, aby można było ocenić te dane w porównaniu z ustalonymi limitami dla odpadów i samego pojemnika. Dane te powinny być udokumentowane. Limity powinny być ustalone na podstawie konkretnych warunków składowania odpadów wynikających z analiz bezpieczeństwa składowiska.
- 2. Moc dawki powierzchniowej** – moc dawki na powierzchni pojemnika powinna być taka, aby narażenie

zawodowe było utrzymane na poziomie akceptowalnym.

3. **Skażenia powierzchniowe** – kontaminacja zewnętrznej powierzchni pojemników z odpadami powinna być zachowana w takich granicach, aby narażenie zawodowe było utrzymane na poziomie akceptowalnym. Wymaganiem to narzuca konieczność wykonania kontroli skażenia pojemnika i przeprowadzenia ewentualnej dekontaminacji.
4. **Stabilność strukturalna** – stabilność strukturalna formy odpadu lub pojemnika na odpady powinna być taka, aby narażenie zawodowe oraz właściwości systemu składowania były utrzymane na poziomie akceptowalnym.
5. **Ługowalność** – ługowalność odpadów powinna być taka, aby uwolnienie się radionuklidów nie przekroczyło poziomu określonego w wymaganiach dla całego systemu składowania.
6. **Materiały powodujące korozję** – odpady zawierające materiały powodujące korozję w takich ilościach, że mogą one oddziaływać na właściwości systemu składowania, powinny być tak przygotowywane do składowania (przetworzone), aby zawartość w nich takich materiałów była wyeliminowana lub odpowiednio zmniejszona lub też, aby materiały te w procesie załadowania odpadów do pojemników (w procesie pakowania) były efektywnie odizolowane.
7. **Skutki termiczne i radiacyjne** – odpady załadowane do pojemników, w których wydzielana energia cieplna lub radiacyjna mogłaby zagrozić właściwościom systemu składowania, nie mogą być akceptowane do składowania.
8. **Palność** – właściwości palne odpadów przygotowanych do składowania oraz ich opakowania powinny być takie, aby potencjał ich zapalenia się był tak niski, jak jest rozsądnie osiągalny.
9. **Wytwarzanie się gazu** - wytwarzanie się gazu w odpadach znajdujących się w pojemnikach, powinno być takie, aby właściwości systemu składowania nie były zagrożone.
10. **Degradacja mikrobiologiczna** – w celu kontroli degradacji mikrobiologicznej, zawartość materiałów organicznych powinna być tak ograniczona, aby właściwości systemu składowania odpadów nie były osłabione.
11. **Swobodne ciecze**² – ilość swobodnych cieczy w odpadach znajdujących się w pojemnikach powinna być dostatecznie mała i taka, aby zapewnione było utrzymywanie akceptowalnego poziomu narażenia zawodowego oraz nie były zagrożone właściwości systemu składowania odpadów.
12. **Środki kompleksujące**³ – odpady zawierające środki kompleksujące powinny być przerabiane lub wprowadzane do pojemników w taki sposób, aby chronić je przed zwiększoną migracją radionuklidów.
13. **Materiały wybuchowe** – odpady zawierające materiały wybuchowe nie mogą być składowane.
14. **Materiały piroforyczne** – odpady zawierające materiały piroforyczne powinny być przed składowaniem przetwarzane lub kondycjonowane w taki sposób, aby wyelimi-

nować zagrożenie przez te materiały.

15. **Odporność na korozję** – pojemniki powinny być wykonane z materiałów o dostatecznej odporności na korozję, aby spełnione zostały wymagania dotyczące ich normalnego czasu pracy i zamierzonego użytkowania.
16. **Bezpieczeństwo związane z krytycznością** – zawartość dowolnego materiału rozszczepialnego w pojemniku z odpadami powinna być ograniczona, aby nie wystąpiły warunki krytyczne.
17. **Identyfikacja odpadów** – odpady w pojemniku powinny być łatwo identyfikowalne.
18. **Kształt pojemników na odpady** – pojemniki dla odpadów powinny mieć znormalizowany kształt i taki, aby był on zgodny z procedurami obsługi i składowania.

Zgodnie z obowiązującymi w Polsce przepisami narażenie osób zamieszkałych w otoczeniu SOP nie może przekroczyć 0,1 wartości rocznej dawki granicznej (uwzględniając także drogę inhalacyjną i pokarmową), tzn. 0,1mSv/rok. Biorąc pod uwagę założenia konstrukcyjne dla składowiska i konkretną budowę geologiczną, warunki hydrologiczne i inne charakterystyki, należy przeprowadzić ocenę narażenia pracowników zatrudnionych bezpośrednio przy eksploatacji SOP oraz osoby z ogółu ludności uwzględniając:

- normalne warunki eksploatacji
- zdarzenia wewnętrzne (np. brak zasilania w energię elektryczną, lokalny pożar, awarię podczas transportu bębnow z odpadami promieniotwórczymi na terenie SOP, upadek i otwarcie bębna z odpadami zawierającymi jod-125 wskutek błędów obsługi i inne)
- zdarzenia zewnętrzne (np. upadek samolotu)
- ostateczne zamknięcie składowiska (należy ocenić możliwość infiltrację wody do składowiska i migrację radionuklidów uwolnionych do środowiska gruntowo- wodnego wskutek powolnego ługowania z materiałów wiążących, degradację zewnętrznej bariery z betonu zbrojonego, stanowiącej osłonę dla odpadów przed ich penetracją przez wody infiltracyjne)
- degradację zewnętrznej betonowej bariery SOP (należy zastosować modelowanie).

Składowanie odpadów promieniotwórczych w Polsce

W Polsce odpady promieniotwórcze umieszcza się w składowisku powierzchniowym. Problem unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych powstał w Polsce w 1958 r., z chwilą uruchomienia w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku koło Otwocka pierwszego badawczego reaktora jądrowego EWA, w którym stworzono możliwość otrzymywania sztucznych izotopów promieniotwórczych i zastosowań w różnych dziedzinach (nauka, medycyna, przemysł) substancji i źródeł promieniotwórczych. W związku z tym, pojawił się pilny problem właściwego postępowania z odpadami promieniotwórczymi. W wyniku intensywnych działań już w roku 1961 po odpowiednich przygotowaniach inżynierijno- technicznych, w miejscowości Różan nad Narwią, oddano do eksploatacji składowisko odpadów promieniotwórczych, które wtedy otrzymało nazwę Centralna Składnica Odpadów

Promieniotwórczych (CSOP). Na składowisko to przeznaczono eksploatowany w latach 1905-1908 fort wojskowy, który, po przeprowadzeniu niezbędnych analiz i badań hydrogeologicznych, wytypowano spośród podobnych obiektów na terenie Polski. O podjęciu takiej decyzji zaważyć mogła konstrukcja architektoniczna fortu – mianowicie betonowe ściany i stropy o grubości dochodzącej do 1,5m. Zapewniają one pełną osłonność biologiczną przed ułożonymi w pomieszczeniach składowiska odpadami. Składowisko zajmuje obszar 3,045ha i jest korzystnie usytuowane w miejscu, tzw. wyniosłości topograficznej. Wody gruntowe znajdują się pod warstwą gliny o bardzo małej przepuszczalności i warstwą gleby o właściwościach sorpcyjnych na głębokości kilkudziesięciu metrów poniżej składowiska. Skład podłoża przeciwdziała skutecznie migracji odpadów, które mogłyby na skutek nieszczęśliwych wydarzeń przeniknąć do gleby. Na mocy zarządzenia prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 2 września 1994 r. (M. P. z 1994 r. Nr 49 poz. 407) CSOP została określona, jako „Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych” (KSOP).

Prowadzone od roku 1989 obserwacje hydrologiczno-meteorologiczne, badania hydrogeochemiczne wody gruntowej, pomiary stężenia trytu i sumarycznej aktywności beta w wodzie gruntowej na próbkach pobranych na terenie i w otoczeniu składowiska, obserwacje zmian wilgotności objętościowej w gruncie w zainstalowanych na terenie składowiskach reperach⁴ oraz badanie erozji liniowej pozwoliły na:

- określenie możliwości oddziaływania wybranych parametrów wód podziemnych na bariery składowiska oraz migrację radionuklidów,
- przeprowadzenie analizy i kontroli jakości danych hydrochemicznych i ustalenie miarodajnych parametrów prognoz długoterminowych,
- opracowanie założeń realizacji monitoringu po ostatecznym zamknięciu składowiska,
- dokonanie prognozy stabilności geotechnicznej składowiska w okresie 300 lat.

Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że nie występuje wpływ obiektów składowiska na jakość wód gruntowych. Ponadto, prowadzony na terenie składowiska, jak i wokoło niego monitoring lokalny, pozwalający na ocenę sytuacji radiologicznej, i zagrożenia radiacyjnego ludności, a także badanie długookresowych zmian radioaktywności. Monitorowanie składowiska realizują jednostki niezależne od Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP), do których należą: Państwowy Instytut Geologiczny oraz Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, Narodowego Centrum Badań Jądrowych. Ponadto Państwowa Agencja Atomistyki zleca wykonanie monitoringu. Badania próbek wody pozwalają wykryć:

- sztuczne izotopy gamma promieniotwórcze o zawartości powyżej 0,1Bq/l,
- zawartość cezu promieniotwórczego powyżej 0,32 mBq/dm³,
- zawartość strontu Sr -90 powyżej 0,34mBq/dm³,
- zawartość trytu powyżej 0,4Bq/l.

Dla składowiska odpadów promieniotwórczych sporządzony został raport bezpieczeństwa opisujący normalny stan pracy, wszystkie układy i elementy, ich możliwe awarie, błędy ludzkie, zjawiska geologiczne i ich skutki dla zdrowia ludności. W czasie przewozu odpady znajdują się w pojemnikach osłonowych zapewniających skuteczne pochłanianie promieniowania. Mieszkańcy Różana i okolic nie są narażeni na działanie promieniowania ani bezpośrednio z odpadów, ani ich uwolnień do otaczającego środowiska. Składowane odpady są przetworzone, utrwalone, szczelnie zamknięte w pojemnikach, więc narażenie drogą oddechową jest wykluczone. Mimo to, stężenie radioizotopów w powietrzu jest również monitorowane. Chociaż odpady promieniotwórcze składuje się w Różanie już przez pół wieku, nie stwierdzono wśród społeczności lokalnych żadnych ujemnych skutków zdrowotnych, przeciwnie, umieralność na choroby nowotworowe w gminie Różan należy do najniższych w Polsce. W KSOP składowane są stałe i zestalone odpady promieniotwórcze zawierające izotopy krótkożyciowe (<30 lat) oraz zamknięte źródła promieniotwórcze. Większa część odpadów stałych (ok. 60%) jest nieprzetworzona. Pozostałe są sprasowane i zalane zaprawą cementową. Wśród zestalonych odpadów znajdują się koncentraty promieniotwórcze (szlam postrąceniowy, koncentrat powyparny, zużyte jonity, pomoce filtracyjne itp.) przetworzone przy wykorzystaniu cementu, asfaltu oraz żywicy poliestrowej i epoksydowej jako materiałów wiążących. Odpady składuje się w budowlach betonowych oraz w tzw. fosie. W tej ostatniej składowane są jedynie odpady nie zawierające długożyciowych nuklidów alfa-promieniotwórczych. Dno i zbocza fosy pokryte są 20cm warstwą betonu. Długożyciowe odpady alfa-promieniotwórcze przechowywane są w betonowych budowlach fortu, komora po komorze, aż do całkowitego ich wypełnienia. Wypełnioną komorę zamyka się szczelnie lub zamurowuje. Odpady te, przed ostatecznym zamknięciem składowiska w Różanie, będą przeniesione do składowiska docelowego, tzw. składowiska głębokiego.

Zamknięcie Składowiska odpadów promieniotwórczych

Składowisko odpadów promieniotwórczych, po zakończeniu czynnej eksploatacji, wymaga podjęcia działań organizacyjnych i technicznych związanych z jego zamknięciem. Podstawowym celem tego przedsięwzięcia jest całkowita izolacja składowiska od biosfery, przy czym zakres i sposób jego realizacji zależy od wielu czynników, m.in. rodzaju i aktywności odpadów oraz warunków ich składowania, charakteru stosowanych barier, typu składowiska, a także obowiązujących w tej kwestii regulacji prawnych.

Wymienione wyżej polskie przepisy, w kwestii zamknięcia składowiska stanowią: „Składowisko powierzchniowe odpadów promieniotwórczych po zakończeniu eksploatacji zamyka się w sposób zabezpieczający, w szczególności przed:

- 1) infiltracją wód opadowych w głąb składowiska;
- 2) nieświadomą penetracją człowieka;
- 3) niszczącym działaniem roślin i zwierząt.”

Mimo wielu eksploatowanych SOP na świecie tylko kilka z nich zakończyło okres czynnej eksploatacji i wobec kilku z nich podjęto działania związane z zamknięciem. Brak jest jednak informacji odnośnie zakończenia tego procesu. Zwykle rozważana jest budowa wielowarstwowej pokrywy ziemnej, która musi zawierać następujące elementy konstrukcyjne:

- barierę dla infiltracji wód opadowych,
- barierę przeciwko intruzji/penetracji roślin i zwierząt lub człowieka,
- barierę ograniczającą oddziaływanie przemarzania na bariery inżynierskie obiektów składowiska,
- barierę ograniczającą niekorzystne oddziaływanie chemiczne na bariery obiektów składowiska.

W ramach realizowanego w latach 1997-1999 Strategicznego Programu Rządowego „Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Polsce” wykonano pracę badawczą dotyczącą poszukiwania i charakterystyki materiałów naturalnych do budowy zewnętrznych barier SOP niezbędnych do skutecznego zamknięcia składowiska. Dotychczasowe wyniki prac badawczych wskazywały bowiem, że najskuteczniejsze, a przy obecnym stanie wiedzy także najbardziej wiarygodne są zewnętrzne bariery zbudowane z materiałów naturalnych. Do budowy barier wykorzystywane są: surowce ilaste, pospółki i piaski oraz produkty skał litych. W kontekście długotrwałości bezawaryjnego funkcjonowania pokrywy i pozostałych barier zewnętrznych, poszukiwaniami objęto przede wszystkim te surowce, których podstawowe właściwości pozwalają na samoistne zapobieganie niekorzystnym odkształceniom materiału budowlanego i konstrukcji barier oraz przeobrażeniom ich własnego środowiska hydrogeologicznego w wyniku zewnętrznych zmian globalnych, w tym klimatycznych. Przy poszukiwaniu materiałów założono, że ich właściwości i wykonane z tych materiałów zabezpieczenia powinny spełniać wymagania stawiane bezpieczeństwu SOP oraz trwałości według standardów międzynarodowych, tj. przynajmniej 300 lat. Poza badaniami nad surowcami o najkorzystniejszych właściwościach, poszukiwania uwzględniły występowanie na terenie Polski złóż o odpowiedniej wielkości zasobów. Wyniki badań wskazały, że do budowy poszczególnych elementów barier zewnętrznych należy stosować:

- kruszywo naturalne dla wypełnienia i warstw drenażowych pokrywy,
- wyselekcjonowanych z kruszyw naturalnych frakcji o uziarnieniu 16/32 mm lub frakcji kamienistej $d > 40$ mm,
- piaski do produkcji cegły wapienno-piaskowej lub piaski do produkcji betonów komórkowych dla warstwy kapilarnej,
- kamienie drogowe i budowlane dla warstwy antyintruzywnej,
- surowce ilaste dla warstwy izolującej.

Za najkorzystniejsze materiały do budowy warstwy antyintruzywnej uznano - granodioryty, sjenity, masywne odmiany porfirów, masywne odmiany permskich melafirów. Charakteryzują się one najlepszymi parametrami wytrzyma-

łościowymi i składem mineralnym. Za najlepszy surowiec do budowy warstwy izolującej uznano ility mioplioceneskie (poznanskie) oraz plejstoceneskie ility zastoiskowe. Charakteryzują się one niskimi – co jest korzystne – zawartościami zanieczyszczeń organicznych i chemicznych. Ponadto zawartość frakcji iltowej ($< 2 \mu\text{m}$) wynosi powyżej zalecanych w dokumentach międzynarodowych 30%, bardzo często powyżej 50%, oraz korzystnymi pozostałymi parametrami: współczynnikiem filtracji, konsystencją, pojemnością sorpcyjną i pęcznieniem.

Proces gospodarowania odpadami promieniotwórczymi nisko- i średnioaktywnymi w Polsce można uznać za opanowany pod względem technologicznym i bezpieczny. Dotychczasowa działalność Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych w Świerku nie doprowadziła do żadnych znaczących przypadków narażenia radiologicznego pracowników, jak również środowiska naturalnego. Prognoza całkowitego wypełnienia Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych do roku 2022, powoduje konieczność budowy nowego, powierzchniowego składowiska odpadów promieniotwórczych dla odpadów nisko i średnio aktywnych. Należy podkreślić, że konieczność stworzenia takiego obiektu jest niezależna od przyjęcia przez Polskę programu energetyki jądrowej, czy budowy elektrowni jądrowej.

*Paulina Samplawska,
Departament Ochrony Radiologicznej,
Państwowa Agencja Atomistyki,
Warszawa*

Przypisy

- ¹ Dz. U. Ustawa Prawo atomowe z 2012 r. poz. 264 i 908
- ² ciecze swobodne - odpady w postaci ciekłej
- ³ środki kompleksujące - związki chemiczne tworzące z odpadami (nie materiałami) trwałe związki chemiczne
- ⁴ reper - trwałe stabilizowany znak geodezyjny

Literatura

- [1] *Ramowy Harmonogram Działań dla Energetyki Jądrowej*, Warszawa 2009.
- [2] Włodarski J., *Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych – Perspektywy dla energetyki jądrowej*, Państwowa Agencja Atomistyki, Warszawa 2010.
- [3] Sprawozdanie z realizacji strategicznego programu rządowego - Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym, 2000, materiał niepublikowany.
- [4] *Wspólna Konwencja bezpieczeństwa w postępowaniu z wypalonym paliwem jądrowym i bezpieczeństwa w postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi, sporządzona w Wiedniu dnia 5 września 1997 r.* – Dz. U. 2002 nr 202, poz. 1704.
- [5] Włodarski J., *Co każdy powinien wiedzieć o gospodarce odpadami promieniotwórczymi*, Warszawa 2002.