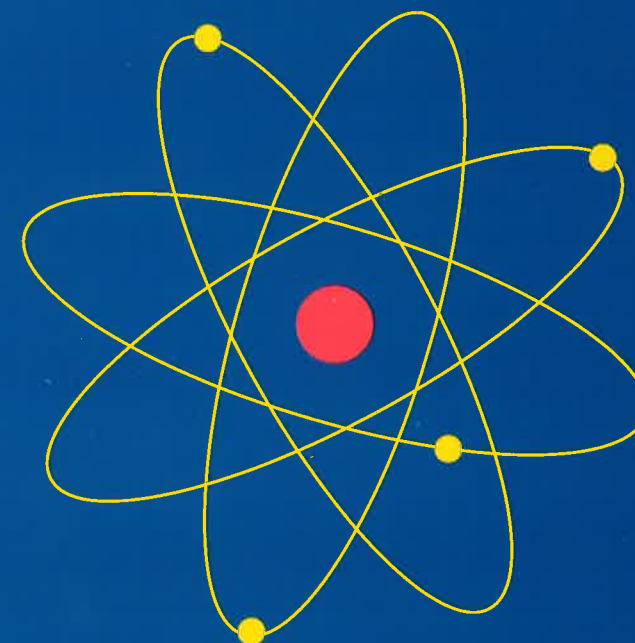


*BEZPIECZEŃSTWO
JĄDROWE*

i

*OCHRONA
RADIOLOGICZNA*



PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE i OCHRONA RADIOLOGICZNA

BIULETYN INFORMACYJNY PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

Wydawca
PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI

Redakcja: 00-921 Warszawa, ul. Krucza 36
tel. 29 85 93, 695 98 22
fax 29 01 64

Redaktor Naczelny
LESZEK MŁYNARCZYK

Przewodniczący Rady Programowej
WITOLD ŁADA

Wydanie publikacji dofinansowane przez Komitet Badań Naukowych

ISSN 0867-4752

Druk: WEMA

Nr 22 – 1995
Warszawa

SPIS TREŚCI

Od Redakcji	2
Włodzimierz Tomczak, Andrzej Cholerzyński Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych w Polsce	3
Włodzimierz Tomczak, Andrzej Cholerzyński Składowanie odpadów promieniotwórczych w Polsce	21
Janusz Włodarski Strategia gospodarki odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Polsce na tle rozwiązań przyjętych w niektórych krajach europejskich	37

Szanowni Państwo,

Problem odpadów promieniotwórczych wzbudza co jakiś czas wiele emocji w kraju. Wypowiadają się na ten temat przedstawiciele różnych środowisk i społeczności lokalnych, a także naukowcy i dziennikarze.

Potwierdza to nasze głębokie przekonanie, że problem ten ma wymiar nie tylko techniczno-ekonomiczny, ale również – a może nawet przede wszystkim – społeczny, psychologiczny i polityczny, a jego racjonalne i optymalne rozwiązanie wymaga długofalowych, wielokierunkowych i skorygowanych działań w skali kraju.

Problem odpadów promieniotwórczych istnieje nie tylko w Polsce, ale dotyczy wszystkich krajów rozwiniętych, w których wykorzystanie energii atomowej stało się powszechne, praktycznie we wszystkich dziedzinach życia i gospodarki.

Rozwiązanie problemów związanych z gospodarką odpadami promieniotwórczymi jest zadaniem złożonym, trudnym technicznie i wymaga bardzo poważnych nakładów finansowych.

Ważny, a czasem decydujący wpływ na wybór metod i środków realizacji tego zadania mają względy społeczne. Podejmowane działania powinny być przez społeczeństwo zrozumiałe i akceptowane. Z tego względu społeczeństwo powinno być o tych sprawach wszechstronnie, rzeczowo i obiektywnie informowane.

Zdarza się jednak, że problem odpadów promieniotwórczych jest w środkach masowego przekazu przedstawiany w sposób wypaczony lub w tonie sensacyjnym. Nie sprzyja to ani zrozumieniu istoty zagadnienia przez społeczeństwo, ani nie kształtuje racjonalnego stosunku do problemu.

W przekonaniu, że sprawy gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Polsce, ze względu na swą wagę, zasługują na szersze i bardziej szczegółowe przedstawienie, poświęcamy im w całości ten numer naszego pisma.

Sądźmy, że Nasz Szanowny Czytelnik znajdzie w nim interesujący materiał, który pogłębi jego wiedzę w tej dziedzinie.

Główny Inspektor Dozoru Jądrowego

UNIESZKODLIWIANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W POLSCE

*Włodzimierz Tomczak
Andrzej Cholerzyński*

1. WSTĘP

Problem unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych powstał w Polsce w 1958 roku, z chwilą uruchomienia w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku koło Warszawy pierwszego badawczego reaktora jądrowego EWA.

Oprócz gromadzonych w b. Instytucie Badań Jądrowych w Świerku, pochodzących z importu, wykorzystanych już źródeł promieniotwórczych oraz odpadów powstających podczas konfekcjonowania izotopów (Biuro Dystrybucji Izotopów) pojawiły się nowe rodzaje odpadów, tzn. koncentraty promieniotwórcze (zużyte jonity z układów oczyszczania wód obiegów chłodzenia reaktora, szlamy postrąceniowe będące wynikiem oczyszczania ścieków promieniotwórczych itp.), wymagające dalszego przetwarzania. Rozpoczęcie w 1961 r. eksploatacji Centralnej Składowicy Odpadów Promieniotwórczych w Różanie spowodowało konieczność opracowania i wdrożenia pełnej technologii unieszkodliwiania odpadów, obejmującej redukcję ich objętości i procesy zestalania oraz pozwalającej na przekształcanie odpadów w formę dogodną do bezpiecznego transportu i długotrwałego składowania. Wymagało to również budowy nowych obiektów i instalacji unieszkodliwiania odpadów.

W początkowym okresie zagadnieniem unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych zajmowała się Centrala Odpadów Promieniotwórczych (COP) b. Instytutu Badań Jądrowych (IBJ), będąca w strukturze organizacyjnej instytutu gospodarstwem pomocniczym.

W roku 1970 COP została przekształcona w Zakład Unieszkodliwiania Substancji Promieniotwórczych (ZUSP), który w roku 1983 włączony został do nowo utworzonego Ośrodka Reaktorów i Produkcji Izotopów (ORiPI) w Instytucie Energii Atomowej (IEA), powstałym po likwidacji IBJ.

W roku 1988, po wyodrębnieniu się ORiPI z IEA i utworzeniu Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Izotopów, ZUSP znalazł się w strukturze Instytutu Energii Atomowej. Decyzją Dyrektora IEA, z dniem 1 stycznia 1994 roku został przekształcony w Zakład Doświadczalny Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZDUOP) z rozszerzoną, w stosunku do innych zakładów instytutu, samodzielnością finansową.

Działalność ZDUOP-IEA obejmuje odbiór, transport, unieszkodliwianie i składowanie odpadów powstających u wszystkich użytkowników materiałów promieniotwórczych w kraju.

Unieszkodliwianie odpadów obejmuje redukcję ich objętości i zestalanie oraz nadanie im formy dogodnej do bezpiecznego transportu i długotrwałego składowania.

Technologie unieszkodliwiania odpadów stosowane w ZDUOP-IEA pozwalają na uzyskiwanie wysokich współczynników redukcji objętości i współczynników dekontaminacji oraz na otrzymywanie produktów o właściwościach fizykochemicznych koniecznych dla długotrwałego składowania. Technologie te odpowiadają standardom światowym i są stosowane w wielu krajach.

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie zasad gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Polsce oraz opis stosowanych technologii przetwarzania i składowania odpadów. Publikacja ta ma być także formą poradnika dla użytkowników materiałów promieniotwórczych w zakresie procedur i sposobu postępowania z odpadami w miejscu ich powstawania tj. zasad segregacji, gromadzenia i przekazywania do unieszkodliwiania.

2. PRZEPISY PRAWNE DOTYCZĄCE UNIESZKODLIWIANIA I SKŁADOWANIA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Działalność związaną z wykorzystaniem energii atomowej normuje ustawa PRAWO ATO-

MOWE z dnia 10 kwietnia 1986 r. (Dz.U. z 1986 r. nr 12, poz. 70; zm. Dz.U. z 1987 r. nr 33, poz. 180; zm. Dz.U. z 1994 r. nr 90, poz. 418).

Rozdział 5 tej ustawy poświęcony jest w całości odpadom promieniotwórczym. W art. 26 pkt. 1 stwierdza się: „Odpady promieniotwórcze powstające podczas wytwarzania, przetwarzania, przechowywania, składowania i stosowania materiałów jądrowych i źródeł promieniotwórczych oraz podczas eksploatacji i likwidacji obiektów jądrowych należy unieszkodliwiać w sposób uniemożliwiający zagrożenie ludzi i środowiska”.

W rozdziale 10 ustawy Prawo Atomowe przyjęte jest ustalenie, że funkcje nadzoru i kontroli działalności związanej z unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów promieniotwórczych sprawuje państwowy dozór bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

Zarządzenie Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki z dnia 19 maja 1989 r. w sprawie zasad zaliczania odpadów do odpadów promieniotwórczych oraz ich kwalifikowania i ewidencjonowania, a także warunków ich unieszkodliwiania, przechowywania i składowania (M.P. z 1989, nr 18, poz. 125) odnosi się do całości spraw związanych z gospodarką odpadami promieniotwórczymi w kraju.

3. INSTYTUCJE I JEDNOSTKI ORGANIZACYJNE W KRAJU ODPOWIEDZIALNE ZA UNIESZKODLIWIANIE I SKŁADOWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI (PAA)

Szczegółowy zakres kompetencji PAA w odniesieniu do gospodarki odpadami promieniotwórczymi reguluje Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 23 lutego 1987 r. w sprawie szczegółowego zakresu działania Państwowej Agencji Atomistyki i Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (Dz.U. z 1987 r. nr 9, poz. 55).

Do zakresu działania PAA należą zatem sprawy:

- organizacji i koordynacji działalności związanej z unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów promieniotwórczych powstałych w wy-

niku wykorzystywania energii atomowej na potrzeby społeczno-gospodarcze kraju,

- organizacji i koordynacji działalności związanej z projektowaniem, budową i eksploatacją centralnych składowisk odpadów promieniotwórczych,

- inicjowania powołania jednostek organizacyjnych, zajmujących się centralnym składowaniem odpadów promieniotwórczych,

- analizowania i oceny sposobów postępowania z odpadami promieniotwórczymi w jednostkach organizacyjnych wykorzystujących energię atomową,

- inicjowania badań i wdrożeń w zakresie unieszkodliwiania i składowania odpadów promieniotwórczych.

DOZÓR JĄDROWY

Organizację, szczegółowe zadania i tryb wykonywania państwowego dozoru jądrowego i ochrony radiologicznej określa Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 11 stycznia 1988 r. (Dz.U. z 1988 r. nr 4, poz. 30).

Dozór jądrowy wykonywany jest przez:

- Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki,
- Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego,
- Inspektorów dozoru jądrowego.

Do zadań kontrolnych dozoru jądrowego – w odniesieniu do działalności związanej z unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów promieniotwórczych – należy kontrolowanie przestrzegania wymagań i warunków bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, w szczególności dotyczących:

- przygotowania budowy, budowy, rozruchu, eksploatacji i likwidacji obiektów unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych i składowisk tych odpadów,

- zatrudniania w obiektach i przy obsłudze odpadów promieniotwórczych osób o odpowiednich kwalifikacjach, posiadających uprawnienia,

- transportu odpadów promieniotwórczych.

Do zadań dozoru jądrowego w zakresie analiz i ocen należy w szczególności:

- wykonywanie analiz i ocen dokumentacji bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej wymaganej od wnioskodawcy w postępowaniu o wydanie zezwolenia na działalność

związaną z unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów promieniotwórczych,

- opiniowanie wniosków o wskazanie lokalizacji i o ustalenie lokalizacji obiektów unieszkodliwiania i składowisk odpadów promieniotwórczych,

- zatwierdzanie programów szkolenia pracowników zatrudnionych w obiektach unieszkodliwiania i składowiskach odpadów promieniotwórczych.

INSTYTUT ENERGII ATOMOWEJ

Praktyczną realizacją zadań związanych z unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów promieniotwórczych zajmuje się w kraju Zakład Doświadczalny Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZDUOP). Jest to wydzielona organizacyjnie, samodzielna jednostka działająca na pełnym wewnętrznym rozrachunku w ramach struktury organizacyjnej Instytutu Energii Atomowej w Świerku.

Integralną częścią ZDUOP-IEA jest Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

Działalność ZDUOP-IEA ma zasięg ogólnokrajowy o charakterze służby publicznej i obejmuje następujące zadania:

- odbiór odpadów promieniotwórczych,
- transport odpadów promieniotwórczych,
- przetwarzanie i zestalanie odpadów promieniotwórczych,
- kontrola jakości odpadów kierowanych do okresowego lub ostatecznego składowania,
- magazynowanie i składowanie odpadów promieniotwórczych,
- dekontaminacja skażonych obiektów, instalacji i urządzeń,
- likwidacja skutków awarii radiologicznych.

4. ŹRÓDŁA I RODZAJE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH POWSTAJĄCYCH W KRAJU

Odpady promieniotwórcze powstają w czasie wytwarzania i stosowania substancji promieniotwórczych.

Wszystkie wytworzone substancje promieniotwórcze, których aktywność nie osiągnie wartości poniżej ustalonych limitów, należy po ich wykorzystaniu uznać za odpady promienio-

twórcze. Należy dążyć, by ich ilość była możliwie mała. Stąd istotne znaczenie ma sprawa wyboru odpowiednich dla danego rodzaju zastosowania, izotopów promieniotwórczych i ich aktywności.

Znaczącym źródłem odpadów promieniotwórczych w Polsce jest obecnie reaktor jądrowy badawczo-produkcyjny MARIA w Świerku i reaktor EWA wyłączony z eksploatacji w marcu br.

Odpadami promieniotwórczymi pochodzenia reaktorowego są m.in. filtry (z układów oczyszczania chłodziwa i wentylacji) odpady podekontaminacyjne, zużyte elementy aparatów i urządzeń reaktorowych.

Wypalone paliwo stanowi specyficzny odpad promieniotwórczy. Magazynowanie, czy przetwarzanie wypalonego paliwa stanowi odrębny problem, którego omówienie wykracza poza ramy niniejszego artykułu, dotyczącego wyłącznie postępowania przewidzianego dla odpadów promieniotwórczych powstających podczas bieżącej eksploatacji reaktorów, użytkowania aparatury jądrowej lub stosowania izotopów promieniotwórczych.

Następnym, istotnym źródłem odpadów promieniotwórczych jest zakład produkcji izotopów promieniotwórczych – Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Izotopów w Świerku (OBRI). Materiały aktywne dostarczane są do tego zakładu z reaktora MARIA lub pochodzą z importu. W wyniku czynności technologicznych w tzw. boksach produkcyjnych przygotowuje się substancje promieniotwórcze zgodnie z zapotrzebowaniem odbiorców (medycyna, przemysł, nauka).

Odpadami z produkcji izotopów są:

- niewykorzystane materiały aktywne z produkcji izotopów,
- odpady podekontaminacyjne,
- zużyte skażone elementy aparatów i urządzeń.

Powstawanie znacznej ilości odpadów promieniotwórczych związane jest z szerokim stosowaniem substancji promieniotwórczych w medycynie, przemyśle i badaniach naukowych.

Odpady powstałe podczas stosowania substancji promieniotwórczych do celów medycznych to przede wszystkim ampułki po preparatach promieniotwórczych, a także strzykawki, lignina, folia, odzież ochronna, zużyte elementy wyposażenia oraz odpady z dekontaminacji.

Specjalną grupę odpadów medycznych stanowią źródła radowe (Ra-226). Odbiór tych odpadów od użytkowników podlega specjalnej procedurze. Dotyczy ona m.in. przygotowania (zabezpieczenia) odpadów na okres transportu. Ma to szczególne znaczenie, w sytuacji, gdy źródła uległy rozszczelnieniu.

Oddzielną grupę odpadów stanowią też źródła terapeutyczne (Co-60) o dużej aktywności. Obecnie trwają prace koordynowane przez PAA mające na celu stworzenie warunków do unieszkodliwiania i składowania zużytych źródeł wysokoaktywnych.

Zamknięte źródła np. cezowe (Cs-137) czy kobaltowe (Co-60) przekazywane są razem z pojemnikami osłonowymi (aktywność tych źródeł nie przekracza z reguły 37 GBq).

Największą objętościowo grupę odpadów odbieranych z zastosowań przemysłowych stanowią od kilku lat czujki dymu ze źródłami Pu-239 i Pu-238.

Odpady promieniotwórcze powstają także w ZDUOP-IEA. Są to najczęściej odpady podekontaminacyjne, odzież ochronna, elementy użytego wyposażenia.

Swoistym źródłem odpadów promieniotwórczych jest likwidacja obiektów techniki jądrowej. Obecnie w Polsce dotyczy to wycofanego z eksploatacji reaktora EWA.

Źródłem odpadów promieniotwórczych mogą być także awarie radiologiczne. W takich przypadkach należy liczyć się z koniecznością odbioru dużych objętości odpadów, głównie podekontaminacyjnych.

Właśnie ze względu na możliwe awarie radiologiczne, instalacje technologiczne ZDUOP-IEA są budowane z pewnym zapasem ponad bieżące potrzeby odbioru i unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych określone dla warunków normalnych.

5. CHARAKTERYSTYKA I BILANS ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Odpady promieniotwórcze charakteryzowane są z punktu widzenia wymagań technologii ich unieszkodliwiania i składowania oraz ochrony radiologicznej.

Kryteria, wg których dokonuje się podziału i klasyfikacji odpadów promieniotwórczych, są następujące:

- **stan skupienia:** stałe, ciekłe, gazowe,
- **rodzaj wysyłanego promieniowania:** alfa-promieniotwórcze, betapromieniotwórcze, gammapromieniotwórcze,
- **okres półroczu:** krótkożyciowe ($T_{1/2} < 30$ lat), długożyciowe ($T_{1/2} > 30$ lat),
- **aktywność właściwa (tylko odpady beta i gammapromieniotwórcze):** niskoaktywne, średnioaktywne, wysokoaktywne,
- **rodzaj źródła promieniotwórczego:** otwarte, zamknięte,
- **palność:** palne, niepalne,
- **podatność na ściskanie:** prasowalne, nieprasowalne,
- **rodzaj materiału:** organiczne, biologiczne,
- **specyficzne własności:** trucizny, zawierające mikroorganizmy, np. bakterie chorobotwórcze, materiały wybuchowe, materiały ulegające samozapłonowi np. w kontakcie z tlenem z powietrza.

Przedstawiona wyżej klasyfikacja odpadów promieniotwórczych stanowi podstawę ich segregacji już w miejscu ich powstawania. Jest to bardzo istotny etap w procesie unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych, gdyż nie ma jednej uniwersalnej technologii unieszkodliwiania i składowania odpadów. Rodzaj i własności odpadów decydują o wyborze technologii ich unieszkodliwiania.

Informacje o własnościach odpadów promieniotwórczych stanowią podstawę do decyzji o przyjęciu ich przez ZDUOP-IEA do unieszkodliwiania (np. nie odbierane są skażone materiały wybuchowe, czy odpady zawierające aktywne zarazki chorobotwórcze).

W tablicy 1 przedstawiono bilans odpadów promieniotwórczych odebranych do unieszkodliwiania w latach 1986–1994. Z danych przytoczonych w tablicy wynika, że systematycznie maleje ilość odbieranych odpadów stałych i ciekłych. Jest to spowodowane wprowadzeniem nowych, udoskonalonych technologii produkcji izotopów, właściwą eksploatacją urządzeń techniki jądrowej, szczególnie reaktorów, a także spadkiem zainteresowania stosowaniem izotopów promieniotwórczych. Wyraźnie wzrosła natomiast ilość odbieranych czujek dymu. Przewiduje się, że ta sytuacja będzie się utrzymywała w ciągu najbliższych lat do całkowitej wymiany czujek dymu zawierających Pu-239 i Pu-238.

Tablica 1. Bilans odpadów promieniotwórczych odebranych do unieszkodliwiania w latach 1986–1994

Źródła odpadów	1986		1987		1988		1989		1990		1991		1992		1993		1994	
	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe
medycyna, przemysł badania naukowe																		
o. niskoaktywne (m ³)	123,5	4,0	79,0	10,0	66,2	2,0	63,7	4,0	65,3	4,4	68,5	4,2	58,3	1,8	54,6	4,2	30,4	2,7
o. średnioaktywne (m ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
o. alfa-promieniotwórcze (m ³)	7,2	-	7,1	-	30,84	-	2,3	-	2,2	-	13,8	-	1,3	-	-	-	-	-
produkcja izotopów																		
o. niskoaktywne (m ³)	75,5	730,0	78,4	907,0	39,5	542,0	21,1	710,0	30,2	474,0	22,9	233,6	24,3	290,0	11,2	99,2	18,7	20,9
o. średnioaktywne (m ³)	18,3	3,8	10,5	36,0	10,5	278,0	6,0	6,0	7,5	3,5	4,4	1,2	5,7	0,8	6,1	1,5	4,4	0,6
o. alfa-promieniotwórcze (m ³)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	-	-	-	3,5	-	9,4	-
reaktory badawcze																		
o. niskoaktywne (m ³)	16,5	455,0	37,5	930,0	3,5	347,0	5,9	156,0	1,8	114,0	2,2	90,0	7,7	82,3	12,1	70,0	6,4	430,0
o. średnioaktywne (m ³)	6,5	-	5,5	-	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
o. alfa-promieniotwórcze (m ³)	-	-	-	-	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OGÓŁEM (m ³)	247,5	1192,8	218,0	1183,0	158,0	1169,0	99,0	876,0	107,0	595,9	113,0	329,0	97,3	374,9	87,5	174,9	69,3	454,2
czujki dymu (szt.)	4389	-	7395	-	11074	-	14121	-	17410	-	27367	-	43267	-	55496	-	34549	-
źródła zamknięte (szt.)	520	-	501	-	2742	-	983	-	1042	-	705	-	1119	-	618	-	2156	-

6. PODSTAWOWE ZASADY POSTĘPOWANIA Z ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI W KRAJU

Z uwagi na szczególny charakter odpady promieniotwórcze wymagają specjalnego postępowania. Dotyczy to gromadzenia, przetwarzania, zestalania, transportu, składowania okresowego i ostatecznego. Z tego względu ograniczenie źródeł i ilości powstających odpadów jest czynnikiem bardzo ważnym.

Wnikliwa analiza technologii wytwarzania i warunków stosowania materiałów promieniotwórczych niemal w każdym przypadku prowadzi do zmniejszenia ilości odpadów o kilka, a nawet kilkadziesiąt procent. Dzięki np. zmianie technologii z „mokrej” na „suchą” przy produkcji preparatów jodowych znacznie ograniczono ilości powstających ścieków promieniotwórczych.

Odpady promieniotwórcze muszą być odpowiednio przetworzone, zestalone, opakowane, a następnie bezpiecznie składowane. Podstawowym celem wymienionych działań jest takie zabezpieczenie odpadów promieniotwórczych, aby nie stworzyły one zagrożeń dla człowieka i środowiska. Jest to szczególnie istotne z punktu widzenia długoterminowego (ostatecznego) składowania.

Izolacja odpadów promieniotwórczych jest możliwa dzięki barierom ochronnym (układowi barier) zabezpieczającym przed uwalnianiem się substancji promieniotwórczych w miejscu ich składowania i zapobiegającym ich migracji do środowiska, co w konsekwencji stwarzałoby zagrożenie dla ludzi. Bariery ochronne są fizycznymi przeszkodami mającymi uniemożliwić uwalnianie i rozprzestrzenianie się substancji promieniotwórczych.

Rozróżnia się dwie podstawowe grupy barier ochronnych:

a) **bariery naturalne**, które są tworzone przez struktury geologiczne i warunki hydrogeologiczne terenu, na którym zlokalizowane jest składowisko odpadów,

b) **bariery sztuczne**, tj. wykonane przez człowieka, wśród których wyróżnia się:

- formę odpadów (postać fizykochemiczna substancji promieniotwórczych zawartych w odpadach wraz z materiałem nieaktywnym, z którym są związane),

- opakowanie (pojemnik pojedynczy lub wieloelementowe opakowanie spełniające wymagania transportowe oraz danego typu składowiska),

- materiał wypełniający (wypełnia wolne przestrzenie pomiędzy opakowaniami w miejscu ich składowania np. beton, mieszanina piasku i bentonitu),

- obiekt budowlany (np. wybetonowane rowy, czy betonowe komory do składowania odpadów),

- uszczelnienie (warstwy izolacyjne na styku z barierą naturalną).

Przygotowanie odpadów do składowania poprzedzone jest z reguły redukcją ich objętości. Ułatwia to dalsze operacje z odpadami oraz ogranicza ich ilości przeznaczone do okresowego, czy ostatecznego składowania. Pozwala to również na zoptymalizowanie procesu tworzenia barier ochronnych, a także obniża ogólne koszty unieszkodliwiania i składowania odpadów.

Bariery sztuczne i naturalne należy rozpatrywać zawsze jako układy dopełniające się i tworzące system multibarier dający pełne zabezpieczenie. Aby system multibarier był skuteczny, musi być opracowany odrębnie dla każdej konkretnej lokalizacji i typu składowiska (powierzchniowe, gębokie).

Na rys. 1 przedstawiono schemat blokowy postępowania z odpadami promieniotwórczymi w kraju. Jest on zgodny z zasadami, które przedstawiono wyżej. Odpowiada też regułom postępowania, które zostały wypracowane przez ekspertów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) w Wiedniu.

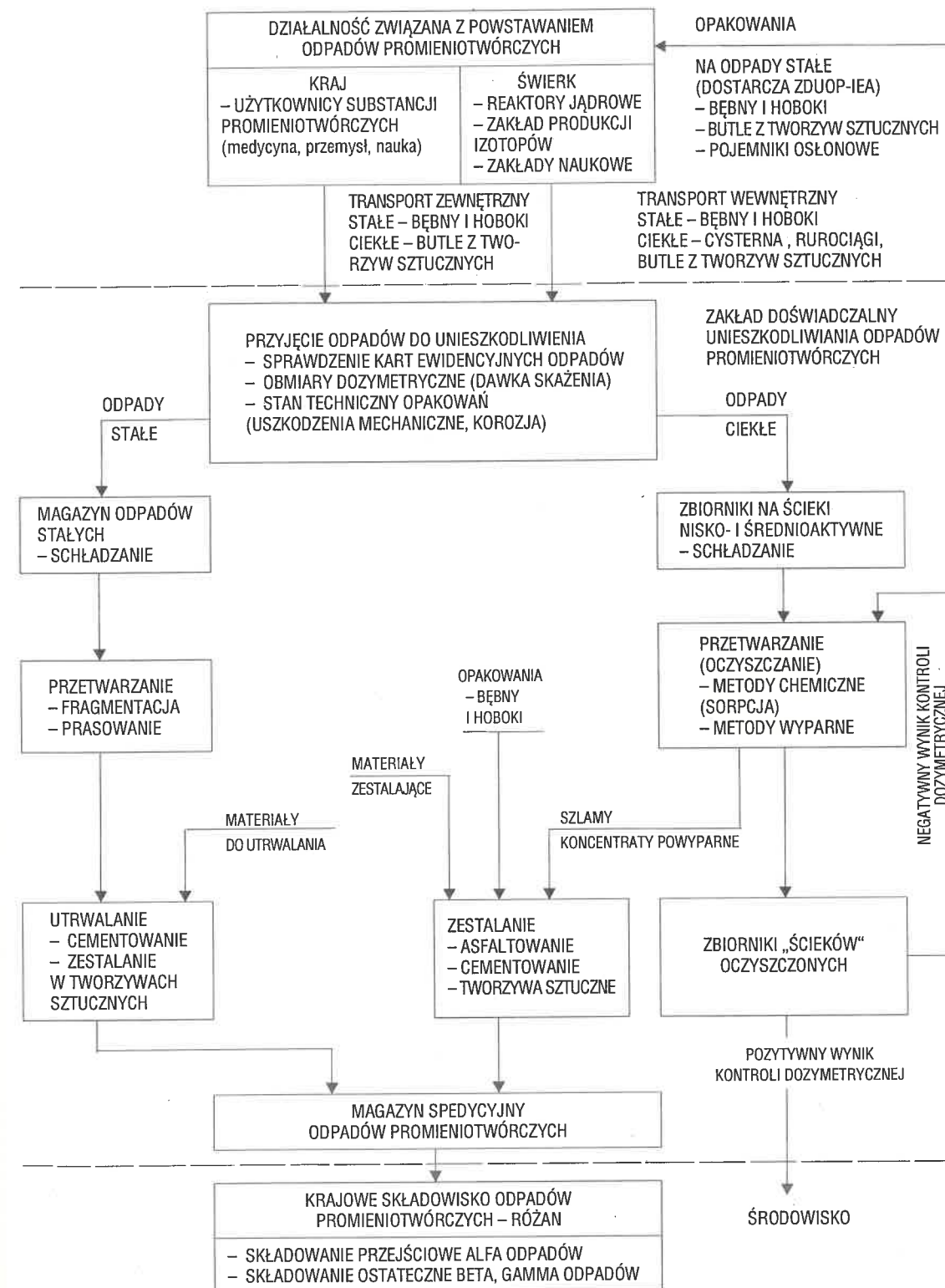
7. GOSPODARKA ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI W POLSCE

7.1. GROMADZENIE ODPADÓW W MIEJSCU ICH POWSTAWANIA

Odpady promieniotwórcze powinny być zbierane i gromadzone zgodnie ze ściśle określonymi kryteriami stanowiącymi podstawę zasad ich segregacji.

Kryteria segregacji odpadów związane są (patrz pkt. 4) m.in. ze stanem skupienia, rodzajem wysyłanego promieniowania, aktywnością, okresem półrozpadu zawartych w nich izotopów itd.

Stałe odpady promieniotwórcze gromadzone są w odpowiednio oznakowanych pojemnikach



Rys. 1. Schemat postępowania z odpadami promieniotwórczymi w Polsce

lub opakowaniach. Standardowymi pojemnikami na stałe, niskoaktywne odpady promieniotwórcze są bębny stalowe, ocynkowane lub pokryte dobrej jakości powłokami malarskimi, o pojemności 50 i 200 litrów.

W przypadku odpadów stałych o wyższych aktywnościach niezbędne są opakowania wieloelementowe, które oprócz pojemnika właściwego mają osłonę biologiczną.

Dla odpadów nietypowych przygotowuje się specjalne opakowania.

Ciekłe odpady promieniotwórcze gromadzone są bądź w pojedynczych pojemnikach o pojemności do 100 l (z reguły nie przekracza to 25 l ze względu na konieczność przenoszenia), bądź w zbiornikach stanowiących element tzw. kanalizacji specjalnej (aktywnej). Ten drugi przypadek dotyczy przede wszystkim obiektów jądrowych, zakładów produkujących substancje promieniotwórcze, zakładu unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych.

W zależności od aktywności, pojemniki lub zbiorniki na ścieki promieniotwórcze są wyposażane w osłony.

Opakowania do transportu odpadów ciekłych powinny zatem składać się z:

- pojemnika szczelnego,
- adsorbera (na wypadek wylania się cieczy),
- pojemnika zewnętrznego,
- ewentualnie osłony (decyduje moc dawki na powierzchni odpadów).

Gazowe odpady promieniotwórcze nie są odbierane do unieszkodliwiania. Przyjęto bowiem zasadę, że są one przetwarzane w miejscu ich powstawania do postaci cieczy lub ciała stałego (adsorpcja i adsorpcja). Zasada ta bezwzględnie dotyczy gazów sprężonych. W sytuacjach wyjątkowych odbierane są przez ZDUOP-IEA niewielkie ilości odpadów gazowych np. szczelne ampułki zawierające dwutlenek węgla z C-14, z zastosowań medycznych.

Po napełnieniu pojemników lub zbiorników odpadami promieniotwórczymi oraz umieszczeniu ich w opakowaniach transportowych, użytkownik substancji promieniotwórczych ma obowiązek wystawienia „Karty ewidencyjnej odpadów promieniotwórczych”. Bez tego dokumentu odpady nie mogą być odbierane i przekazywane

do unieszkodliwiania. Wzór karty znajduje się w zarządzeniu Prezesa PAA z 19 maja 1989 r.

ZDUOP-IEA nie odbiera również odpadów promieniotwórczych w przypadku nieprawidłowego wypełnienia karty ewidencyjnej lub jeśli nie jest ona podpisana przez osobę przekazującą odpady.

7.2. PRZEKAZYWANIE ODPADÓW DO UNIESZKODLIWIANIA

Przekazywanie odpadów promieniotwórczych do unieszkodliwiania to przede wszystkim przedsięwzięcie organizacyjne.

Pierwszym istotnym jego elementem jest wystawienie zlecenia na odbiór odpadów promieniotwórczych skierowanego do ZDUOP-IEA. Powinno ono zawierać takie podstawowe informacje jak: rodzaj i ilość odpadów, aktywność dla poszczególnych izotopów, specyficzne własności (np. trucizna), rodzaj materiałów (np. odpady biologiczne, rozpuszczalniki organiczne palne). Podane w zleceniu dane powinny być zgodne z tymi, które zostały zapisane w kartach ewidencyjnych odpadów przeznaczonych do przekazania.

Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych jest odpłatne, przy czym odpłatność ta nie jest pełna; 60 – 70% kosztów unieszkodliwiania i składowania odpadów promieniotwórczych jest pokrywane z dotacji pochodzącej z budżetu państwa.

Opłaty za unieszkodliwianie zależą głównie od aktywności i objętości odpadów. Stąd każdy użytkownik substancji promieniotwórczych powinien być zainteresowany zarówno obniżeniem aktywności powstających odpadów, jak i ich ilości.

Odpady przeznaczone do przekazania powinny być umieszczone w opakowaniach, które spełniają wymagania transportowe. Z reguły standardowe opakowania do gromadzenia i transportu odpadów promieniotwórczych dostarcza ZDUOP-IEA, a w przypadku np. zużytych, zamkniętych źródeł promieniowania wykorzystywane są opakowania, w których były one dostarczone od producenta.

Opakowanie na odpady powinno zapewniać taką osłonność, aby maksymalna moc dawki na jego powierzchni nie przekraczała 2 mGy/h

i 0,1 mGy/h w odległości 1 m, a skażenia nie związane na powierzchni opakowania nie były większe niż 40 kBq/m² dla radionuklidów beta- i gammapromieniotwórczych oraz 4 kBq/m² dla radionuklidów alfa-promieniotwórczych.

Każde opakowanie z odpadami powinno być oznaczone znakiem promieniowania oraz mieć wymalowany numer identyfikacyjny. Numer ten wpisywany jest do karty ewidencyjnej odpadów.

Karta ewidencyjna odpadów promieniotwórczych spełnia podwójną rolę: jest dokumentem przekazania odpadów do unieszkodliwiania oraz stanowi podstawę do ustalenia sposobu ich unieszkodliwiania w oparciu o zawarte w niej dane.

W czasie przekazywania odpadów promieniotwórczych wykonywane są następujące czynności:

- sprawdza się, czy zostały prawidłowo wypełnione karty ewidencyjne,
- sprawdza się, czy dane zawarte w kartach zgodne są z ustaleniami na podstawie pomiarów dozymetrycznych i oględzin,
- w przypadku, gdy przekazujący i przyjmujący odpady nie stwierdzają nieprawidłowości podpisują wszystkie egzemplarze kart ewidencyjnych.

Odpady promieniotwórcze mogą być transportowane wyłącznie pojazdami specjalnie do tego celu przystosowanymi i posiadającymi odpowiednie zezwolenie (na przewóz materiałów promieniotwórczych). Pojazdy te powinny być wyposażone w przenośne przyrządy do pomiarów dozymetrycznych (moce dawek, skażenia) oraz podręczny sprzęt do dekontaminacji.

7.3. PRZETWARZANIE I ZESTALANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Proces unieszkodliwiania odpadów rozpoczyna się już w miejscu ich powstawania, gdzie odpady są segregowane z uwzględnieniem postaci fizycznej i aktywności właściwej. Wyodrębnia się też odpady zawierające nuklidy alfa-promieniotwórcze. Powinno się wyodrębnić również odpady zawierające nuklidy o $T_{1/2} < 60$ dni.

Odpady ciekłe

Ciekłe odpady niskoaktywne są magazynowane w zbiornikach retencyjnych ZDUOP-IEA. Ich oczyszczanie odbywa się po obniżeniu

aktywności w wyniku rozpadu izotopów o $T_{1/2} < 60$ dni.

W niektórych przypadkach retencja ścieków może spowodować obniżenie ich aktywności do takiego poziomu, że nie będą one już kwalifikowane do grupy ścieków promieniotwórczych. Ścieki te mogą być wypuszczone bez dalszego przetwarzania do kanalizacji sanitarnej.

Podstawową, obecnie stosowaną, technologią oczyszczania ścieków jest sorpcja na mieszaninie węglańki boru i żelazocyjanku miedzi, w obecności nadmiaru jonów siarczanowych, dodawanej w postaci wodnej zawiesiny. Po rozdzieleniu faz, materiał sorpcyjny zawiera od 80 do 99% początkowej aktywności ścieków i poddawany jest dalszemu procesowi przetwarzania (zestalania). Niewielkie objętości (ok. 2 m³/rok) ścieków średnioaktywnych są zateżnane metodą odparowania. Koncentrat wyparny, stanowiący nie więcej niż 1/30 początkowej objętości ścieków zestalany jest w cemencie.

Odpady stałe

Odpady stałe, zawierające nuklidy o $T_{1/2} < 60$ dni magazynowane są w celu obniżenia aktywności. W niektórych przypadkach, po okresie kilku czy kilkunastu miesięcy, aktywność odpadów obniża się na tyle, że możliwe jest przekwalifikowanie ich do grupy odpadów niepromieniotwórczych. Takie postępowanie jest możliwe tylko wtedy, gdy są bardzo rygorystycznie przestrzegane zasady segregacji odpadów w miejscu ich powstawania.

W sytuacji, gdy w odpadach są różne izotopy promieniotwórcze ($T_{1/2} < 60$ dni i $T_{1/2} > 60$ dni), przetrzymywanie odpadów jest postępowaniem pożądanym z punktu widzenia ochrony radiologicznej; zmniejsza się bowiem narażenie pracowników.

Blisko 45% wszystkich stałych odpadów promieniotwórczych stanowią odpady niskoaktywne, prasowalne. Ich przetwarzanie odbywa się przez zgniatanie w stalowych 200 dm³ bębnach, w prasie hydraulicznej o nacisku 12 ton. W zależności od rodzaju prasowanych odpadów, uzyskiwane wartości współczynników redukcji objętości (WRO) wynoszą 1,5 – 3,0.

Inne mechaniczne metody redukcji objętości, tj. fragmentację (cięcie) stosuje się tylko w przy-

padku odpadów o większych gabarytach w celu optymalizacji transportu i warunków składowania. Sprasowane lub pocięte odpady znajdujące się w stalowych bębnach zalewane są betonem, zamykane stalową pokrywą i w tej postaci transportowane do miejsca składowania.

Zestalanie odpadów

W ZDUOP-IEA stosowane są następujące technologie zestalania odpadów:

- asfaltowanie,
- betonowanie,
- zestalanie w żywicy epoksydowej,
- zestalanie w żywicy mocznikowo-formaldehydowej.

Różnorodność stosowanych materiałów wiążących wynika zarówno z różnego rodzaju zestalanych odpadów, jak też jest rezultatem dążeń do otrzymywania produktów o najkorzystniejszych właściwościach z punktu widzenia długotrwałego składowania.

Asfaltowanie

Asfaltowanie jest obecnie podstawową technologią zestalania odpadów w ZDUOP-IEA. Stosowane jest do utrwalania szlamów, powstających w procesie oczyszczania ścieków, stanowiących około 90% wszystkich koncentratów promieniotwórczych.

Szlamy mieszane są z asfaltem w temperaturze 220 – 250°C. W procesie asfaltowania ok. 99% wody znajdującej się w szlamach zostaje odparowane. Produkty asfaltowania zawierające do 30% wag. suchych soli wlewane są na gorąco do stalowych bębnow o pojemności 200 dm³ i po zastygnięciu zalewane 5 cm warstwą czystego asfaltu.

Cementowanie

Proces ten wykorzystywany jest, jak dotąd, w stosunkowo niewielkim zakresie. Cementowa-

Tablica 2. Techniki unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych stosowane w Instytucie Energii Atomowej w Świerku

Typ odpadów	Technologia przerobu	Współcz. dekont.	Współcz. red. obj.	Forma otrzymanego koncentratu	Technologia zes. konc.	WRO (zestal.)	WRO sumaryczny
1	2	3	4	5	6	7	8
Ciekle: - niskoaktywne	sorpcja na syntetycznych sorbentach nieorganicznych	5 – 40	100 – 200	szlam	asfaltowanie	3	300 – 600
- średnioaktywne	odparowanie	100 – 1000	30 – 70	koncentrat powyparny	betonowanie	0,4 – 0,6	12 – 42

niu bezpośrednio w bębnach podlegają koncentracji wyparne powstające w wyniku zateżenia ścieków średnioaktywnych.

W najbliższej przyszłości technologia ta stanie się wiodącą w procesie zestalania odpadów w ZDUOP-IEA, wypierając asfaltowanie i inne techniki. Otrzymana, w ramach pomocy technicznej Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, instalacja do cementowania odpadów zostanie przekazana do eksploatacji w drugiej połowie 1995 r.

Zestalanie w żywicy epoksydowej

Technologia zestalania odpadów w żywicy epoksydowej jest stosowana do utrwalania zużytych jonitów, tj. materiału filtracyjnego w układzie oczyszczania wód obiegów chłodzenia reaktora MARIA. Zestalaniu podlega zawieszina jonitów zawierająca 65% wody. Jonit jest odwadniany do zawartości wody ok. 30%, a następnie mieszany z żywicą Epidian 53 z utwardzaczem Akfanil tolerującym obecność wody.

Po uruchomieniu instalacji cementowania zużyte jonity będą zestalone w cemencie modyfikowanym polimerami.

Zestalanie w żywicach mocznikowo-formaldehydowych (ŻMF)

ŻMF jest materiałem wiążącym stosowanym wyłącznie do utrwalania odpadów biologicznych. Podstawowym celem stosowania tego spoiwa jest, oprócz zestalania, ograniczenie skutków rozkładu tych odpadów.

Zestawienie podstawowych technologii przetwarzania odpadów w ZDUOP-IEA oraz uzyskiwane wartości współczynników dekontaminacji (WD) i współczynników redukcji objętości (WRO) zawiera tablica 2.

cd. tabl. 2

Typ odpadów	Technologia przerobu	Współcz. dekont.	Współcz. red. obj.	Forma otrzymanego koncentratu	Technologia zes. konc.	WRO (zestal.)	WRO sumaryczny
1	2	3	4	5	6	7	8
Stale: - małogabarytowe, nisko- i średnioaktywne	bez przerobu prowadzącego do redukcji pakowanie w celu sprostanania normom transportu i warunkami składowania	-	1	odpady w stałej postaci w stalowych bębnach	-	-	1
- wielkogabarytowe, nisko- i średnioaktywne	fragmentacja	-	3	odpady w stalowych bębnach i opakowaniu z folii	-	-	3
- niskoaktywne prasowalne	prasowanie	-	1,5 – 3,0	sprasowane odpady w stalowych bębnach	-	-	-
- biologiczne	zestalanie w ŻMF	-	0,5	odpady w postaci stałej w metalowych bębnach	-	-	0,5
- zużyte jonity	zestalanie w żywicach epoksydowych	-	2				
- źródła promieniowania	bez przerobu	-	1				1

7.4. SPEDYCJA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH DO KRAJOWEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W RÓŻANIE (KSOP-RÓŻAN)

Unieszkodliwione odpady promieniotwórcze (przetworzone, zestalone i opakowane) kierowane są do okresowego lub ostatecznego składowania.

Do każdego opakowania z odpadami dołączona jest karta ewidencyjna identyczna jak ta, która jest wystawiana dla odpadów w miejscu ich powstawania. W sytuacjach, gdy odpady nie były przetwarzane, utrwalane czy przepakowywane, zachowywana jest karta pierwotna.

Odpady kierowane do składowania muszą być w postaci stałej i spełniać ponadto następujące wymagania jakościowe:

- pojemniki z odpadami powinny być szczelnie zamknięte w sposób zabezpieczający przed wydostaniem się odpadów na zewnątrz,

- ługowalność z produktów zestalania odpadów niskoaktywnych nie powinna być większa niż 10⁻²g · cm⁻² · d⁻¹, a średnioaktywnych 10⁻³g · cm⁻² · d⁻¹,

- nie wydzielać produktów gazowych (wyjątek stanowią odpady zawierające izotopy rozpadające się do produktów gazowych np. Ra-226),

- nie zawierać substancji wybuchowych, łatwopalnych lub odznaczających się aktywnością chemiczną w stosunku do barier ochronnych,

- nie zawierać cieczy nie związanych powyżej 1% całkowitej masy odpadów.

Odpady promieniotwórcze transportowane są na składowisko pojazdami specjalnie do tego celu przystosowanymi.

Niedopuszczalny jest przewóz materiałów promieniotwórczych pojazdami otwartymi, tzn. takimi, które nie mają komory bagażowej lub nie są przykryte plandeką.

W żadnym przypadku nie może być bezpośredniego dostępu osób postronnych do przewożonych materiałów.

Komory bagażowe czy platformy pojazdów specjalnych powinny być łatwo dekontaminowalne. Stosuje się w tym celu wykładziny wykonane z blachy ze stali nierdzewnej. Gdy brak jest takiej wykładziny stosowana jest folia z tworzyw sztucznych (do jednorazowego użytku).

Pojazd do przewozu odpadów promieniotwórczych powinien być wyposażony dodatkowo w:

- przenośne przyrządy do pomiarów dozymetrycznych,
- podręczny sprzęt do dekontaminacji,
- łączność radiową (kontakt ze służbami awaryjnymi, policją, strażą pożarną, dozorem jądrowym).

Przewóz materiałów niebezpiecznych, a w tym i materiałów promieniotwórczych wymaga odpowiedniego zezwolenia dopuszczającego do poruszania się pojazdów z takim ładunkiem po drogach publicznych.

W zakresie transportu ZDUOP-IEA korzysta z usług Zakładu Obsługi i Transportu (ZOiT-IPJ w Świerku). Wykorzystywany jest jeden samochód bagażowy (Mercedes 300D) oraz jeden samochód ciężarowy kryty plandeką (Jelcz). Służą one zarówno do odbioru odpadów od klientów, jak i do transportu odpadów nieszkodliwych na składowisko.

7.5. SKŁADOWANIE ODPADÓW W KRAJOWYM SKŁADOWISKU ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W RÓŻANIE (KSOP-RÓŻAN)

W wyniku stosowanych w ZDUOP-IEA metod przetwarzania odpadów otrzymuje się rocznie ok. 200 m³ zestalonych odpadów przeznaczonych do ostatecznego składowania. Z tej ilości ok. 30% wag. stanowią odpady promieniotwórcze, zaś pozostałych 70% wag. przypada na osłony biologiczne i bariery sztuczne, przeciwdziałające uwalnianiu się materiałów promieniotwórczych z miejsca składowania.

Ocenia się, że pojemność składowicy w Różanie wystarczy do składowania odpadów nisko- i średnioaktywnych jeszcze przez okres 15–20 lat. Jest to jednak uwarunkowane zgodą władz miasta na przedłużenie okresu eksploatacji składowicy, gdyż zawarte z Urzędem Miasta i Gminy Różan porozumienie w tej sprawie obowiązuje do końca 1996 roku. Szczegółowe omówienie KSOP-Różan zawiera następny artykuł.

8. OCHRONA RADIOLOGICZNA W ZDUOP-IEA

Jednostką sprawującą bezpośredni nadzór dozymetryczny nad ZDUOP-IEA jest Służba Ochrony Radiologicznej IEA (SOR-IEA). Program kontroli obejmuje ochronę pracowników i obiektów ZDUOP-IEA oraz ochronę ludności i środowiska naturalnego na obszarze i w otoczeniu Ośrodka Jądrowego w Świerku, a także Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie (KSOP).

Program realizowany jest poprzez:

- kontrolę substancji promieniotwórczych usuwanych z obiektów ZDUOP-IEA,
- kontrolę narażenia radiologicznego pracowników na podstawie pomiarów indywidualnych,
- kontrolę radioaktywności głównych elementów środowiska naturalnego (powietrze, woda, gleba, roślinność) oraz poziomu promieniowania na terenie i w otoczeniu Ośrodka Jądrowego w Świerku,
- kontrolę poziomów zagrożenia w obiektach, w których znajdują się źródła promieniowania (obiekty przetwarzania i magazynowania odpadów),
- dobór odpowiedniej aparatury pomiarowej oraz jej konserwację i wzorcowanie,
- kontrolę przestrzegania przepisów ochrony radiologicznej,
- opiniowanie projektów technicznych urządzeń, technologii i instrukcji pracy,
- szkolenie pracowników ZDUOP-IEA.

ZDUOP-IEA jest także okresowo kontrolowany przez Państwowy Inspektorat Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej oraz przez Departament Ochrony Radiologicznej i Obrony Cywilnej PAA.

Działalność ZDUOP-IEA może być również przedmiotem kontroli przez inne jednostki lub organizacje, zarówno krajowe jak też zagraniczne.

Na wniosek Państwowej Agencji Atomistyki, w 1989 r., gospodarka odpadami promieniotwórczymi była oceniana przez Komisję Ochrony Radiologicznej Rady Sanitarno-Epidemiologicznej oraz ekspertów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej tzw. Misja WAMAP.

Wyniki kontroli prowadzonej przez wyżej wymienione instytucje i organizacje wskazują na to, iż gospodarka odpadami promieniotwórczymi w kraju jest właściwa i że działalność związana z unieszkodliwianiem odpadów w okresie 35 lat nie spowodowała zagrożenia dla ludności i środowiska naturalnego.

9. DOSKONALENIE TECHNIK PRZETWARZANIA I ZESTALANIA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Stosowane w ZDUOP-IEA technologie przetwarzania i zestalania odpadów promieniotwórczych ulegają systematycznej modyfikacji i doskonaleniu. Zmiany te związane są z koniecznością dostosowania tych technologii do coraz wyższych wymagań dotyczących jakości przetwarzanych odpadów przeznaczanych do okresowego bądź ostatecznego składowania, a także rosnącymi wymaganiami w zakresie ochrony środowiska.

Efektem udoskonalonych lub nowych technik i technologii unieszkodliwiania odpadów jest uzyskanie wyższych wartości współczynników dekontaminacji i współczynników redukcji objętości oraz otrzymanie produktów zestalania tzw. produktów końcowych o zwiększonej odporności na ługowanie, odporności chemicznej i wytrzymałości mechanicznej.

W ostatnich latach udoskonalono technologię zestalania zużytych jonitów przez wprowadzenie żywicy poliestrowej jako materiału wiążącego. Udoskonalono także sposób przygotowania do składowania źródeł radowych poprzez szczelne ich zamknięcie przy wykorzystaniu kombinacji sztucznych barier. Wprowadzono nowe technologie unieszkodliwiania odpadów zawierających tryt oraz plutonowych czujek dymu.

W najbliższym czasie przewiduje się wprowadzenie technologii zestalania odpadów w cementcie, przy zastosowaniu instalacji angiel-

skiej, otrzymanej z Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w ramach programu pomocy technicznej.

10. INFORMACJE PRAKTYCZNE DLA PRZEKAZUJĄCYCH ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE

Instytut Energii Atomowej
Zakład Doświadczalny Unieszkodliwiania
Odpadów Promieniotwórczych
05-400 Otwock-Świerk
Dyrektor tel. 779-8489
Sekretariat tel. 779-8489
fax 779-8144

Dział Odbioru Odpadów Promieniotwórczych
tel. 779-8468
fax 779-8144

Wzór zlecenia na odbiór odpadów promieniotwórczych – Załącznik nr 1

Wzór karty ewidencyjnej odpadów promieniotwórczych (Zarządzenie Prezesa PAA z dn. 19.05.1989 r. MP z 1989 r., nr 18, poz. 125) – Załącznik nr 2

OKREŚLENIA STOSOWANE W GOSPODARCE ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI

AKTYWNOŚĆ. Liczba rozpadów jąder atomowych w ciągu 1 s.

W układzie SI podstawową jednostką aktywności jest **bekerel (Bq)**.

$$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$$

Jednostką spoza układu SI jest **kiur (Ci)**:

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ s}^{-1} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$$

ALARA. (As Low As Reasonably Achievable). Podstawowa zasada ochrony radiologicznej: należy tak planować i organizować pracę z promieniowaniem jonizującym, aby otrzymane dawki były możliwie jak najmniejsze z racjonalnym uwzględnieniem czynników technicznych, ekonomicznych i socjalnych (zysk musi zawsze przewyższać straty).

ALI. (Annual Limit of Intake). Roczne pobranie (w bekerelach) izotopu promieniotwórczego drogą pokarmową (ALI_p) lub oddechową (ALI_o),

odpowiadające wartościom dawek granicznych dla narażenia zawodowego.

Dla ludności przyjmuje się:

- 0,02 wartości wskaźników pochodnych dla grup obejmujących tylko osoby dorosłe,
- 0,01 wartości wskaźników pochodnych dla grup obejmujących również dzieci.

BARIERY OCHRONNE. Zespół czynników naturalnych i sztucznych (wykonanych ręką człowieka) stanowiących fizyczną przeszkodę uniemożliwiającą lub ograniczającą uwalnianie się substancji promieniotwórczych ze składowanych odpadów i ich migrację w środowisku.

CHEMICZNA METODA OCZYSZCZANIA ŚCIEKÓW. Metoda oczyszczania polegająca na wprowadzeniu do ścieków stałych, nierozpuszczalnych, materiałów, które usuwają z nich substancje promieniotwórcze. Materiały te mogą być wprowadzone do ścieków jako przygotowany już materiał sorpcyjny lub wytworzone w wyniku reakcji chemicznych zachodzących w oczyszczanych ściekach po dodaniu odpowiednich substratów.

Metoda chemiczna zaliczana jest do metod selektywnych w stosunku do zawartych w ściekach zanieczyszczeń zarówno chemicznych, jak i radiochemicznych.

DAWKA POCHŁONIĘTA (D). Iloraz średniej energii promieniowania jonizującego przekazanej określonej ilości materii i masy materii tego elementu.

W układzie SI jednostką dawki pochłoniętej jest grej (Gy)

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J kg}^{-1}$$

Poprzednio dawkę pochłoniętą mierzono w radach (1 rad)

$$1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy} = 1 \text{ cGy}$$

DEKONTAMINACJA (ODKAŻANIE). Usuwanie skażeń promieniotwórczych z powierzchni lub objętości metodami fizycznymi i/lub chemicznymi.

GOSPODARKA ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI. Wszelkie działania administracyjne i technologiczne związane z odbio-

rem, unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów promieniotwórczych.

Określenie to obejmuje również zagadnienia ochrony radiologicznej od momentu powstania odpadów promieniotwórczych do ich ostatecznego składowania.

IZOTOP PROMIENIOTWÓRCZY. Izotop danego pierwiastka chemicznego o określonej masie atomowej i liczbie atomowej emitujący samorzutnie promieniowanie jonizujące.

KROTNOŚĆ ALI. Suma stosunków aktywności właściwej danego izotopu wyrażonej w Bq/m³ do wartości ALI (droga pokarmowa) określonej dla danego izotopu.

$$\sum_k \frac{A_k}{ALI_k}$$

A_k – aktywność radionuklidu k w 1 m³

ALI_k – wartość ALI radionuklidu k w 1 m³ (wchłonięcie drogą pokarmową)

Obliczanie przykładowe:

– dane z karty ewidencyjnej odpadów stałych objętość – 1 m³

izotopy i ich aktywności

$$\text{Cs-137 } 1 \text{ mCi} = 3,7 \times 10^7 \text{ Bq} = 37 \text{ MBq}$$

$$\text{Co-60 } 1 \text{ mCi} = 3,7 \times 10^7 \text{ Bq} = 37 \text{ MBq}$$

– dane z tabeli załącznika nr 2 do Zarządzenia Prezesa PAA z dn. 31 marca 1988 r. „Dawki graniczne” (MP z 1988 r., nr 14, poz. 124)

$$ALI \text{ (droga pokarmowa) Cs-137} = 4 \times 10^4 \text{ Bq}$$

$$\text{Co-60} = 2 \times 10^7 \text{ Bq}$$

$$\begin{aligned} \sum &= \frac{A_{\text{Cs-137}}}{ALI_{\text{Cs-137}}} + \frac{A_{\text{Co-60}}}{ALI_{\text{Co-60}}} = \\ &= \frac{3,7 \times 10^7}{4 \times 10^4} + \frac{3,7 \times 10^7}{2 \times 10^7} = \\ &= 925 + 1,85 = 926,85 \end{aligned}$$

a więc krotność ALI wynosi 927.

ŁUGOWALNOŚĆ. Wymywanie rozpuszczalnych substancji z ciał stałych pod wpływem rozpuszczalnika, z którym mają one kontakt.

W badaniach własności odpadów promieniotwórczych ługowalność opisuje stopień ich erozji.

Ługowalność wyrażana jest m.in. przez szybkość ługowania:

$$R = \frac{A_n \cdot m}{A_o \cdot P \cdot t_n} \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^2 \cdot \text{dzień}} \right]$$

A_n – aktywność roztworu ługującego po czasie t_n (Bq)

A_o – całkowita aktywność początkowa ługowanej próbki (Bq)

m – masa próbki (g)

P – powierzchnia całkowita próbki (cm²)

t_n – czas ługowania (dni)

Szybkość ługowania odpadów zestalonych kierowanych do składowania w zasadzie nie powinna być wyższa niż 10⁻² g cm² d⁻¹.

MATERIAŁ ZESTALAJĄCY. Nieaktywny materiał służący do zestalania odpadów promieniotwórczych, np.: cement, asfalt, tworzywa sztuczne, szkło, stopy metali.

MIGRACJA. Zjawisko przenikania substancji (np. promieniotwórczych) przez różne materiały, wiążące się głównie z przepływem wody.

Migracja izotopów promieniotwórczych z odpadów poprzez bariery ochronne do środowiska jest podstawowym elementem analiz bezpieczeństwa składowisk okresowych i ostatecznych.

ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE. Przedmioty lub materiały stałe, ciekłe albo gazowe, zawierające substancje promieniotwórcze lub skażone tymi substancjami, których dalsze wykorzystanie jest niecelowe lub niemożliwe i jeśli ilość tych substancji przekracza poziomy określone w Zarządzeniu Prezesa PAA z dnia 19 maja 1989 r. (MP z 1989 r., nr 18, poz. 125).

ODPADY ALFAPROMIENIOTWÓRCZE. Odpady zawierające jeden lub więcej nuklidów alfapromieniotwórczych w ilości i/lub stężeniu wymagających długoterminowej izolacji od środowiska.

Okres półrozpadu $T_{1/2} \gg 30$ lat.

ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE KRÓTKOŻYCIOWE. Odpady zawierające izotopy promieniotwórcze o okresie półrozpadu $T_{1/2} < 30$ lat.

ODPADY TRANSURANOWE. Odpady alfapromieniotwórcze zawierające nuklidy o liczbie atomowej powyżej 92 w ilości i/lub stężeniu powyżej ustalonego poziomu.

OCHRONA RADIOLOGICZNA. Całokształt działań związanych z zapobieganiem i zmniejszaniem narażenia na promieniowanie jonizujące ludzi i środowiska w możliwie najwyższym stopniu.

Ochronę przed promieniowaniem w sensie fizycznym zapewniają różnego rodzaju osłony i urządzenia zdalnej manipulacji, a przed skażeniami m.in. szczelne obiegi technologiczne, wentylacja, ubrania ochronne, maski.

ODPORNOŚĆ RADIACYJNA. Zdolność materiału do zachowania charakterystyk fizycznych i molekularnych dla danego poziomu dawki pochłoniętej.

OKRES PÓLROZPADU ($T_{1/2}$). Wielkość charakterystyczna dla danego izotopu promieniotwórczego: czas, po upływie którego połowa jąder tego izotopu ulegnie rozpadowi.

OPAKOWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH (OPAKOWANIE). Pojedynczy pojemnik lub zestaw elementów zabezpieczających odpady promieniotwórcze zgodnie z wymaganiami transportowymi i/lub składowania okresowego lub ostatecznego.

W skład opakowania mogą wchodzić:

- pojemnik właściwy,
- zestaw zapewniający szczelność,
- adsorber substancji ciekłych lub gazowych,
- pojemnik osłonowy,
- elementy amortyzujące.

POJEMNIK NA ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE. Jednoelementowe opakowanie na odpady promieniotwórcze spełniające wymagania magazynowania, transportowe i/lub składowania.

PRASOWANIE. Metoda przetwarzania odpadów promieniotwórczych w celu redukcji ich objętości.

PRZETWARZANIE. Czynności mające na celu zmianę objętości i/lub własności fizykochemicznych odpadów promieniotwórczych z uwzględnieniem wymagań ochrony radiologicznej. Przetwarzanie z reguły poprzedza proces zestalania odpadów.

SEGREGACJA. Działania mające na celu pogrupowanie odpadów promieniotwórczych

w zależności od własności radiochemicznych, chemicznych i/lub fizycznych zgodnie z wymaganiami transportu, unieszkodliwiania i/lub składowania.

SKAŻENIA PROMIENIOTWÓRCZE. Niepożądana ze względu na ochronę przed promieniowaniem obecność substancji promieniotwórczych.

RÓWNOWAŻNIK DAWKI (H). Iloczyn dawki pochłoniętej w określonym punkcie tkanki i współczynnika wagowego (W_R) dla danego rodzaju promieniowania.

Jednostką równoważnika dawki jest **sivert (Sv)**, a dawniej był **rem**

$$1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv} = 10 \text{ mSv}$$

$$H = D \cdot W_R$$

np. dla promieniowania γ i X powyżej 30 KeV $W_R = 1$, a dla promieniowania alfa $W_R = 25$.

UNIESZKODLIWIENIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH (UNIESZKODLIWIENIE). Wszystkie operacje, których celem jest przygotowanie odpadów do transportu, magazynowania i/lub składowania okresowego czy ostatecznego.

Unieszkodliwienie obejmuje przetwarzanie, zestalanie i umieszczenie odpadów promieniotwórczych w odpowiednich opakowaniach.

UTRWALANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH (UTRWALANIE).

Zalewanie lub mieszanie stałych odpadów promieniotwórczych z materiałami zestalającymi (cement, asfalt, tworzywa sztuczne).

WSPÓŁCZYNNIK DEKONTAMINACJI (WD). Stosunek początkowej wartości skażenia powierzchni lub objętości do wartości skażenia po dekontaminacji. WD może być liczony dla poszcze-gólnych izotopów promieniotwórczych lub dla aktywności globalnych alfa, beta i/lub gamma.

ZESTALANIE. Utrwalanie odpadów gazowych i ciekłych przez konwersję do postaci stabilnego ciała stałego.

Przykładami procesów zestalania są:

kalcynacja, suszenie, cementowanie, asfaltowanie, utrwalanie w tworzywach sztucznych, zeszkliwanie. Produkty zestalania powinny spełniać wymagania związane z warunkami składowania.

SKŁADOWANIE OSTATECZNE. Umieszczanie odpadów w specjalnie wyznaczonych i przygotowanych miejscach z założeniem, że nigdy nie będą wykonywane z nimi jakiegokolwiek operacje, oraz że nie będą stamtąd usuwane.

W Z Ó R

PIECZĄTKA ZAKŁADU
LUB PAPIER FIRMOWY
ZLECENIODAWCY
(adres, tel., fax)

INSTYTUT ENERGII ATOMOWEJ
ZAKŁAD DOŚWIADCZALNY
UNIESZKODLIWIENIA ODPADÓW
PROMIENIOTWÓRCZYCH
05-400 OTWOCK-ŚWIERK

ZLECENIE

na odbiór odpadów promieniotwórczych

I. Informacja o odpadach

- rodzaj odpadów (stałe, ciekłe, źródła zamknięte)
- aktywność odpadów związana z poszczególnymi odpadami, np.:
Cs-13710 MBq
Co-60 1 GBq
- ilości wyrażone w jednostkach masy lub objętości
- wymiary w przypadku odpadów wielkogabarytowych
- rodzaj i ilość opakowań np.:
2 hoboki o obj. 50 l i 1 bęben o obj. 200 l
- rodzaj materiałów, nazwa skażonego urządzenia, np. lignina, szkło, odzież ochronna, boks alfa
- informacja o specyficznych właściwościach odpadów, np. skażone łatwopalne rozpuszczalniki organiczne.

II. Pożyczony przez zleceniodawcę termin odbioru odpadów

III. Informacja, czy zleceniodawca jest płatnikiem VAT

IV. Konto bankowe

V. Podpisy dyrektora i gł. księgowego

Notka o autorach

Włodzimierz Tomczak – mgr chemii, Dyrektor Zakładu Doświadczalnego Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych IEA, Świerk

Andrzej Cholerzyński – mgr inż. chemik, Zastępca Dyrektora ZDUOP-IEA, Świerk

**WZÓR KARTY EWIDENCYJNEJ POWSTAŁYCH
LUB PRZECHOWYWANYCH ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH**

Nazwa i adres jednostki organizacyjnej	Nr opakowania:
Charakterystyka odpadów: 1) postać fizyczna 2) rodzaj izotopu 3) krotność ALI 4) aktywność (stężenie promieniotwórcze) 5) ilość (objętość) 6) właściwości odpadów: a) ciekłe: – pH – typ rozpuszczalnika b) stałe: – rodzaj materiału 7) grupa odpadów	Rodzaj opakowania: Uwagi: Data przekazania: (podpis osoby przekazującej) (podpis osoby przyjmującej)
Pomiary radiometryczne: 1) moc dawki na powierzchni opakowania 2) potwierdzenie braku skażeń na opakowaniu zewnętrznym 3) typ przyrządów 4) data wykonania pomiarów (podpis osoby wykonującej pomiary)	Nazwa i adres jednostki przejmującej odpady
Dodatkowe informacje:	

**SKŁADOWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH
W POLSCE**

*Włodzimierz Tomczak
Andrzej Cholerzyński*

1. WSTĘP

Odpady promieniotwórcze nie mogą być unieszkodliwione w dosłownym znaczeniu tego określenia. Procesem decydującym o stopniowym zaniku ich aktywności jest bowiem naturalny rozpad promieniotwórczy zdefiniowany przez czas połowicznego zaniku $T_{1/2}$, którego nie można zmienić ani skrócić.

Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych jest procesem polegającym na wykonaniu niezbędnych operacji fizykochemicznych i mechanicznych, zakończony umieszczeniem odpadów w składowisku i „czekaniem” przez okres związany z $T_{1/2}$, po którym odpady stają się niepromieniotwórcze. Izotopy promieniotwórcze, jako źródło promieniowania jonizującego, nie są obojętne dla ludzi i środowiska, stąd konieczność ich zabezpieczenia i przechowywania w zamkniętych, odizolowanych od ludzi i środowiska obiektach.

Sposoby zabezpieczania odpadów promieniotwórczych na okres, kiedy stanowią zagrożenie radiologiczne, jest przedmiotem badań naukowych i regulacji prawnych.

Składowanie odpadów promieniotwórczych definiowane jest jako przechowywanie ich w warunkach pełnego bezpieczeństwa dla ludzi i środowiska przez okres, kiedy zagrożenie radiologiczne obniży się do poziomu uznawanego za bezpieczny.

Rozróżnia się dwa rodzaje składowania: okresowe (przejściowe) i ostateczne.

Składowanie okresowe odpadów promieniotwórczych oznacza, że odpady będą jeszcze przenoszone w inne miejsce. W przypadku składowania ostatecznego nie przewiduje się wykonywania jakichkolwiek czynności z odpadami. Składowanie okresowe dotyczy zazwyczaj sytuacji, gdy nie ma składowiska ostatecznego dla danego typu odpadów, np. w Polsce nie ma składowiska ostatecznego dla odpadów alfa-

promieniotwórczych (izotopy o $T_{1/2} \gg 30$ lat, np. $T_{1/2}$ Ra-226 – 1620 lat).

Rozróżnia się dwa podstawowe typy składowisk: powierzchniowe i głębokie.

Składowiska powierzchniowe mają obiekty do składowania odpadów zlokalizowane na powierzchni lub lekko zagłębione (do kilkunastu metrów). Składowiska głębokie budowane są poniżej 200 m od powierzchni gruntu.

Konstrukcja składowiska ma ścisły związek ze sposobem zabezpieczenia odpadów. Zabezpieczenie odpadów w powiązaniu z elementami konstrukcyjnymi składowiska oraz jego warunkami naturalnymi tworzy układ multibarier (bariery sztuczne oraz bariery naturalne). Podstawowym zadaniem tego układu jest niedopuszczenie do przeniknięcia i rozprzestrzenienia substancji promieniotwórczych w środowisku. Praktycznie oznacza to izolację od przenikania wody do i ze składowiska.

Początkowo (lata 50. i 60.) odpady promieniotwórcze były składowane w miejscu ich powstawania. Było to możliwe w początkowym okresie stosowania substancji promieniotwórczych, gdy ilość odpadów była niewielka. Gdy ilość odpadów znacząco wzrastała, zaistniała groźba usuwania odpadów do środowiska. Podjęto wówczas decyzję, na szczeblu rządowym, o poszukiwaniu lokalizacji dla składowisk odpadów promieniotwórczych. Po wykonaniu wymaganych wówczas badań, analiz i ekspertyz podjęto decyzję o lokalizacji składowiska odpadów promieniotwórczych w Różaniu. Eksploatacja składowiska rozpoczęła się w 1961 roku.

W porównaniu z podobnymi tego typu obiektami na świecie koncepcja składowania odpadów promieniotwórczych w Różaniu mieści się w ówczesnie przyjmowanych standardach. Oczywiście współczesne kryteria lokalizacji składowisk są znacznie zaostrzone i znalezienie

odpowiedniego terenu na składowisko odpadów promieniotwórczych jest dziś problemem znacznie trudniejszym.

Celem publikacji jest przybliżenie szerokiej opinii publicznej problematyki składowania odpadów promieniotwórczych w Polsce. Tak jak w żadnej innej dziedzinie, panuje na ten temat wiele mitów, dotyczących zwłaszcza zagrożenia dla ludzi.

Zakres opracowania dotyczy całości problematyki związanej ze składowaniem odpadów promieniotwórczych w Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych w Różanie, a więc charakterystyki hydrogeologicznej terenu, eksploatacji składowiska, ochrony i bezpieczeństwa radiologicznego itd.

2. KRAJOWE SKŁADOWISKO ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W RÓŻANIE (KSOP-RÓŻAN)

2.1. PODSTAWY PRAWNE DZIAŁALNOŚCI KSOP-RÓŻAN

1. Ustawa „Prawo atomowe” z dnia 10 kwietnia 1986 r. (Dz.U. z 1986 r. Nr 12, poz. 70; zm. Dz.U. z 1987 r. Nr 33, poz.180; zm. Dz.U. z 1994 r. Nr 90, poz. 418).

Rozdział 5, art. 27 dotyczy składowisk odpadów promieniotwórczych:

Art. 27, p. 1. „Zezwolenie w sprawie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, na budowę lub eksploatację składowiska odpadów promieniotwórczych wydaje Prezes PAA. Zezwolenie to jest warunkiem uzyskania pozwolenia na budowę i użytkowanie obiektu, zgodnie z przepisami prawa budowlanego”.

Art. 27, p. 2. „Za zgodne z wymaganiami bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej składowanie odpadów promieniotwórczych jest odpowiedzialny kierownik jednostki organizacyjnej, której wydano zezwolenie na eksploatację składowiska takich odpadów”.

W dniu 24 czerwca 1994 r. w zmianie ustawy „Prawo atomowe” wprowadzono po art. 27 art. 27a i 27b w brzmieniu:

Art. 27a, p.1. „Krajowym Składowiskiem Odpadów Promieniotwórczych jest składowisko przeznaczone do przyjmowania i stałego składowania odpadów promieniotwórczych,

pochodzących z terenu całego kraju”. Art. 27a, p. 2. „Prezes Państwowej Agencji Atomistyki określa, w drodze zarządzenia, które ze składowisk zbudowanych i eksploatowanych zgodnie z art. 27, jest Krajowym Składowiskiem Odpadów Promieniotwórczych”.

Art. 27b, p.1. „Gminie, na której terenie znajduje się Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych, przysługuje coroczna opłata z tytułu eksploatacji składowiska, zwana dalej *opłatą*, wypłacana z budżetu Państwowej Agencji Atomistyki”.

Art. 27b, p.2. „Opłatę ustala się w wysokości 200% dochodów gminy z tytułu podatku od nieruchomości uzyskanych w roku poprzednim, powiększonych w stopniu odpowiadającym wskaźnikowi wzrostu cen towarów i usług konsumpcyjnych, ogłoszonemu przez Prezesa Głównego Urzędu Statystycznego na podstawie art. 20 ust. 3 ustawy z dnia 12 stycznia 1991 r. o podatkach i opłatach lokalnych (Dz.U. Nr 9, poz. 31 i Nr 101, poz. 444 oraz z 1992 r. Nr 21, poz. 86)”.

Art. 27b, p. 3. „Opłata, o której mowa w ust. 1, przekazywana jest gminie w równych ratach kwartalnych w terminie do 15 dnia ostatniego miesiąca każdego kwartału”.

2. „Zezwolenie” Prezesa PAA, dotyczące CSOP w Różanie z dnia 8 czerwca 1989 r.

Zezwolenie na eksploatację zostało wydane na wniosek Instytutu Energii Atomowej w oparciu o wyniki przeprowadzonej przez państwowy dozór bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej analizy i oceny „Eksploatacyjnej dokumentacji stanu ochrony radiologicznej w Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych w Różanie” z dnia 15.05.1989 r. oraz na podstawie „Analizy warunków fizjograficznych i hydrogeologicznych w aspekcie przepływu wód na terenie Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych w Różanie” z dnia 05.06.1989 r.

3. Zarządzenie Prezesa PAA z dnia 19.05.1989 r. „Odpady promieniotwórcze” (M.P. z 1989 r. Nr 18, poz.125).

W zarządzeniu tym zawarte są m.in. wymagania jakościowe w stosunku do odpadów promieniotwórczych przeznaczonych do składowania.

4. Zarządzenie Prezesa PAA z dnia 02.09.1994 r. (MP z 1994 r., nr 49, poz. 407).

W zarządzeniu Centralna Składnica Odpadów Promieniotwórczych w Gminie Różan została określona jako Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych. Po wydaniu tego zarządzenia zaczęto używać nowej nazwy dla składowiska w Różanie, a więc zamiast „Centralne Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie” (CSOP-Różan) obecnie nazwą oficjalną jest „Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych w Różanie” (KSOP-Różan).

5. „Porozumienie” z dnia 22.09.1994 r. zawarte pomiędzy Zarządem Gminy Różan a Instytutem Energii Atomowej w Świerku koło Otwocka.

W § 1 stwierdza się:

pkt. 1. Zarząd wyraża zgodę na przyjmowanie i składowanie odpadów promieniotwórczych w Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych (CSOP) w Różanie do dnia 31 grudnia 1996 r.

pkt. 2. Decyzja o dalszym uznaniu CSOP w Różanie za Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych zostanie podjęta do dnia 30 czerwca 1995 r.

pkt. 3. W CSOP składowane są tylko odpady od krajowych użytkowników źródeł promieniotwórczych pochodzące z produkcji i zastosowań preparatów w medycynie, badaniach naukowych i przemyśle.

2.2. LOKALIZACJA I CHARAKTERYSTYKA KSOP

2.2.1. Położenie składowiska

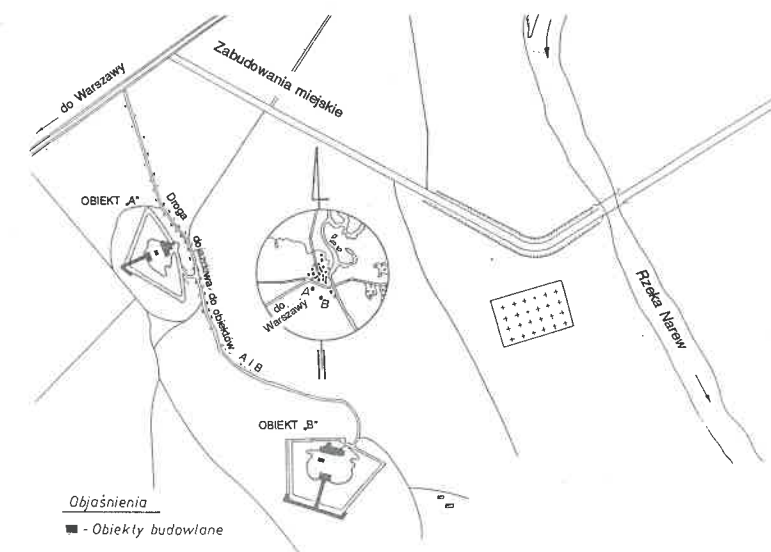
Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych położone jest w miejscowości Różan nad Narwią, woj. ostrołęckie, w odległości około 90 km od Warszawy i mieści się na terenie dawnego fortu (B) o powierzchni 4,2 ha.

Od strony północnej fortu w odległości ok. 800 m w momencie lokalizacji składnicy, a wg aktualnego stanu ok. 400 m, znajdują się zabudowania miejskie, zaś od strony północno-wschodniej oddalona o ok. 800 m rzeka Narew. W odległości 1 km w kierunku północno-zachodnim znajduje się droga państwowa łącząca Warszawę z Suwałkami.

Tereny wokół składowiska to grunty orne dzierżawione przez indywidualnych rolników. Plan sytuacyjny KSOP przedstawiono na rys. 1.

2.2.2. Przebieg postępowania lokalizacyjnego dla CSOP

Zarządzeniem Nr 20/1960 z dn. 7 lipca 1960 r., Pełnomocnik Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej powołał komisję ekspertów, zadaniem której było ustalenie odpowiedniej lokalizacji Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych. Przyjęto, że miejsce lokalizacji



Rys. 1. Plan sytuacyjny KSOP-Różan

składnicy powinno spełniać następujące kryteria (Protokół Komisji, powołanej ww. zarządzeniem, z dnia 7 lipca 1960 r.):

- mieć możliwie centralne położenie w stosunku do punktów dostaw odpadów,
- mieć dogodny połączenie komunikacyjne (drogi o nawierzchni bitej),
- być położone w terenie o niskim zaludnieniu, z dala od terenów upraw rolnych, terenów budowlanych oraz miejsc poboru wody pitnej,
- teren powinien być suchy, podłoże nieprzepuszczalne, gliniaste,
- obiekt usytuowany możliwie wysoko.

Jako potencjalne składowiska odpadów były analizowane istniejące w kraju, nie używane obiekty fortyfikacyjne, będące własnością Ministerstwa Obrony Narodowej. Z osiemnastu obiektów fortyfikacyjnych zlokalizowanych w rejonach Warszawy, Krakowa, Skierniewic, Serocka, Sochaczewa, Łowicza, Tarnowa, specjalna komisja wybrała, jako najbardziej odpowiednie na zlokalizowanie w nich składowisk odpadów promieniotwórczych, forty położone w miejscowościach:

- Dębe koło Serocka – wariant I
- Różan nad Narwią – wariant II

Powołując się na opinię komisji Biuro Pełnomocnika Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej wystąpiło z wnioskiem (10 lipca 1960 r.) do Wojewódzkiej Komisji Planowania Gospodarczego przy Prezydium Wojewódzkiej Rady Narodowej w Warszawie o zatwierdzenie lokalizacji składowisk wg ww. wariantów lokalizacji.

Decyzją Wojewódzkiej Komisji Planowania Gospodarczego wybrany został wariant II składowisk, tzn. miejscowość Różan nad Narwią – pismo z dnia 01.09.1960 r.).

Na podstawie pozytywnych opinii zawartych w ekspertyzach, Prezydium Wojewódzkiej Rady Narodowej w Warszawie w dniu 21 maja 1961 r. wydało decyzję nr 2691 w sprawie lokalizacji szczegółowej Centralnej Składowicy Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

Przekazywane nieruchomości składały się z dwóch fortów wraz z przyległym terenem o powierzchni:

- fort nr A – 2,7 ha
- fort nr B – 4,2 ha

Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych obejmuje teren fortu B. Na terenie fortu A nie były składowane odpady promieniotwórcze i nie przewiduje się jego wykorzystania.

2.2.3. Charakterystyka geologiczna

Obszar fortu i wysoczyzny położonej między składowiskiem a rzeką Narew stanowią do głębokości poniżej 28 m czwartorzędowe utwory plejstoceniowe w postaci dwóch warstw glin zawałowych podzielonych serią utworów zastoiskowych i fluwiogłacyjnych o miąższości do kilku metrów. Poniżej pierwszej warstwy gliny zawałowej występują piaski drobne, pylaste o zmiennej miąższości. Są to utwory zastoiskowe. Spąg (powierzchnia ograniczająca warstwę geologiczną od dołu) ww. piasków leży na głębokości 4 – 8 m na warstwie fluwiogłacyjnych piasków drobnych i średnich ze żwirami i kamieniami, sięgającej do głębokości 10 – 14 m. Poniżej spągu tych utworów zalegają piaski drobne i pylaste z wkładkami pyłu i żwiru. Głębokość ich zalegania sięga miejscami do 21 – 24 m. Jest to już warstwa wodonośna.

Wody podziemne występują na głębokości 16 – 24 m. Warstwa wodonośna zalega ponad dolną warstwą gliny zawałowej i tworzą ją piaski drobne i pylaste.

Niżej podane są przykładowo wyniki wykonanych w 1987 r. badań podłoża gruntowego (badania próbek z czterech piezometrów):

- od powierzchni terenu do głębokości 2,8 – 11,5 m gliny, gliny piaszczyste, piaski gliniaste,
- pod warstwą glin kompleks piasków drobnociastych, piasków pylastych, pyłów piaszczystych, pospółek małowilgotnych i wilgotnych do głębokości 15 – 20 m,
- od głębokości 15 – 20 m do 20 – 25,4 m grunty te są nawodnione,
- spąg warstwy wodonośnej tworzą charakterystyczne szare gliny piaszczyste z pojedynczym żwirem i kamieniami, zalegające od głębokości 20 m do 25,4 m,
- miąższość warstwy wodonośnej wynosi od 4,55 m do 6,66 m.

Zwierciadło wody rzeki Narwi znajduje się, według pomiarów z 26.05.1961 r. poniżej:

- poziomu terenu składowicy – o 31,92 m

- lustra wody gruntowej – o 14,88 m
 - stropu warstwy nieprzepuszczalnej – o 4,92 m
- W okresie znacznego podwyższenia stanu rzeki Narwi w roku 1958 (556 cm licząc od zera wodowskazu) rzędna lustra wody była poniżej stropu warstwy nieprzepuszczalnej w rejonie składowicy o około 1,2 m. Nie zachodzi więc obawa, aby powodziowe wody Narwi infiltrowały teren KSOP-Różan. Należy podkreślić, że nie było wówczas Zalewu Zegrzyńskiego, który w znacznym stopniu ogranicza fluktuacje poziomu wód gruntowych.

Najniższy położony obiekt składowicy jest na głębokości ok. 5 m.

Dno fosy, w której składowane są odpady, znajduje się na głębokości ok. 3 m (południowo-zachodnia część składowicy położona jest kilka metrów powyżej przylegającego do składowicy terenu. Konstrukcje obiektów, w których składowane są odpady, usytuowane są w I-szej warstwie glin piaszczystych.

Wnioski z przeprowadzonych badań geologicznych:

1. Zwierciadło wód gruntowych znajduje się na głębokości kilkunastu metrów.

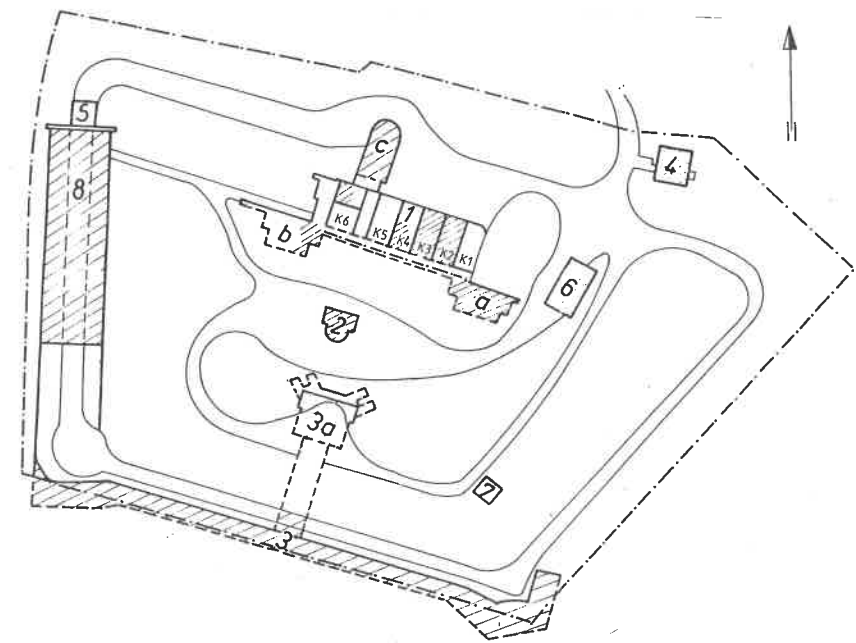
2. Zasoby pierwszego poziomu wodonośnego w rejonie KSOP-Różan są nieznaczne.
3. Pierwszy poziom wodonośny zasilany jest wyłącznie przez opady atmosferyczne.
4. Woda gruntowa nie jest agresywna w stosunku do betonu na cemencie portlandzkim.
5. W rejonie fortów istnieją dogodne warunki gruntowo-budowlane.

2.2.4. Charakterystyka obiektów KSOP-Różan

Na terenie KSOP znajduje się dziewięć obiektów, z których sześć oznaczonych numerami 1, 2, 3, 3a, 5 i 8 to wypełnione, aktualnie wykorzystywane lub przeznaczone do wykorzystania w przyszłości miejsca składowania odpadów, rys. 2.

Obiekty nr 1, 2, 3 i 3a zostały zbudowane w latach 1905 – 1910. Są to budowle betonowe o charakterze obronnym, o grubości ścian i stropów 1,2 – 1,5 m oraz warstwie podłogowej o grubości do 30 cm.

Przydatność tych budowli do składowania odpadów została potwierdzona ekspertyzą wykonaną przez Katedrę Fundamentowania i Mechaniki Gruntów Politechniki Warszawskiej (lipiec 1961 r.), a następnie, już w czasie eksplo-



Rys. 2. Teren KSOP-Różan z zaznaczonymi numerami obiektów (składowiska nr nr 1, 2, 3, 3a, 8)

tacji składowiska (1985 r.) przez Zakład Fortyfikacji i Ministerstwa Instytutu Budownictwa WAT.

W tablicy 1 przedstawiono zestawienie obiektów, w których są składowane odpady promieniotwórcze.

Tablica 1. Zestawienie obiektów, w których składowane są odpady promieniotwórcze w KSOP- Różan

Lp.	Składowisko	Miejsce składowania pojemność lub wymiary	Rodzaj składowanych odpadów	Uwagi
1	Obiekt nr 1	– obiekt budowlany 1760 m ³	alfapromieniotwórcze	– wypełniony w 80% – od 1995 r. realizowany jest odzysk kubatury poprzez demontaż składowanych już czujek dymu
2	Obiekt nr 2	– obiekt budowlany 55 m ³	beta- i gammapromieniotwórcze (niskoaktywne), ruda uranowa	wypełniony w 100%
3	Obiekt nr 3	– obiekt budowlany 1060 m ³	odpady niskoaktywne alfa-beta- i gammapromieniotwórcze	wypełniony w 100%
4	Obiekt nr 3a	– 18 podziemnych, betonowych komór – poj. całk. – 378 m ³ – poj. użytk. – 228 m ³	zamknięte źródła promieniowania do 10 Ci (potencjalnie możliwości do 3 kCi)	– od 1993 r. eksploatowana jest druga komora; poprzednia, już wykorzystana została zabetonowana
5	Obiekt nr 8	wybetonowana fosa (rów) o przekroju trapezu: a – 6,8 m b – 16,4 m h – 5,2 m	beta- i gammapromieniotwórcze nisko- i średnioaktywne	możliwość bezinwestycyjnego składowania do 2002 r.

2.3. CHARAKTERYSTYKA SKŁADOWANYCH ODPADÓW

2.3.1. Źródła odpadów

W KSOP-Różan składowane są odpady promieniotwórcze pochodzące z terenu całego kraju. Powstały one w czasie wytwarzania i stosowania substancji promieniotwórczych w medycynie, przemyśle i badaniach naukowych.

Odpady kierowane do składowania muszą być odpowiednio przygotowane i opakowane (podstawowe wymagania zawarte są w Zarządzeniu Prezesa PAA z 19 maja 1989 r). Zajmuje się tym Zakład Doświadczalny Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych Instytutu Energii Atomowej w Świerku (ZDUOP-IEA).

Przyjęty w kraju sposób postępowania z odpadami promieniotwórczymi został opracowany pod kątem zapewnienia maksymalnego bezpieczeństwa składowiska i otoczenia. Zakłada on bowiem, że wszystkie powstające odpady promieniotwórcze przywożone są naj-

pierw do ZDUOP-IEA w Świerku. Odpady, które nie wymagają przetwarzania (np. zamknięte źródła promieniowania w pojemnikach osłonowych, niektóre grupy odpadów stałych) kontrolowane są w celu sprawdzenia, czy informacje podane w ich kartach ewidencyjnych są prawdziwe (ogłędziny, pomiary mocy dawek i skażeń pojemników, analizy spektrometryczne).

Odpady wymagające przetwarzania kierowane są do obiektów technologicznych ZDUOP.

Tak więc niezależnie od tego, gdzie w kraju powstaną odpady promieniotwórcze, muszą być najpierw dostarczone do ZDUOP w Świerku. Taki system postępowania eliminuje możliwość wprowadzenia do składowiska odpadów o nieznanym pochodzeniu, poza ewidencją, czy nie spełniających wymagań jakościowych.

System kontroli ilości i aktywności odpadów kierowanych do KSOP-Różan wspomagany jest przez, wdrożony w ostatnich latach w ZDUOP, Komputerowy System Ewidencji Odpadów Promieniotwórczych.

2.3.2. Rodzaj materiałów

Do składowania w KSOP-Różan przyjmowane są odpady tylko w postaci stałej lub zestalonej.

Są to m.in.:

- odpady podekontaminacyjne (środki do dekontaminacji, gruz betonowy, wycięte elementy aparatów i urządzeń, odzież ochronna),
- zużyte elementy wyposażenia (drewno, szkło, metale, celuloza),
- wkłady filtracyjne,
- nie wykorzystane substancje promieniotwórcze,
- zwierzęta, na których przeprowadzono doświadczenie z użyciem substancji promieniotwórczych.

Praktycznie wszystko (przedmioty, materiały), co uległo skażeniu promieniotwórczemu w sposób trwały lub trudny do usunięcia, staje się odpadem promieniotwórczym. Oczywiście, należy pamiętać, że za skażenie promieniotwórcze uważa się skażenie powyżej określone-

go poziomu, uznawanego za bezpieczny z punktu widzenia ochrony radiologicznej. Gdyby nie przyjęto określonych poziomów granicznych, od których odpad traktowany jest jako promieniotwórczy, cała otaczająca nas materia byłaby „odpadem promieniotwórczym”.

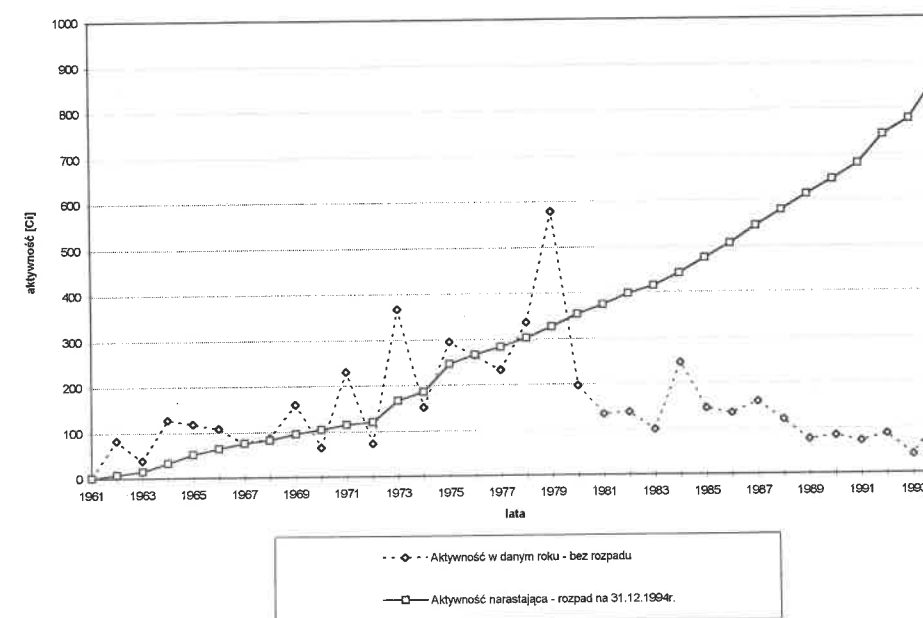
2.3.3. Rodzaje izotopów promieniotwórczych

KSOP-Różan jest miejscem ostatecznego składowania odpadów nisko- i średnioaktywnych zawierających nuklidy beta- i gamma-promieniotwórcze. Odpady alfa-promieniotwórcze składowane są w KSOP okresowo i po zakończeniu „czynnej” eksploatacji składowiska zostaną umieszczone w innym miejscu.

W tablicy nr 2 przedstawiono pełne zestawienie izotopów i ich aktywności zgromadzone w KSOP-Różan w latach 1961 – 1994.

Na rys. 3 przedstawiono wykresy obrazujące: – całkowitą aktywność odpadów promieniotwórczych zgromadzonych w KSOP-Różan, w poszczególnych latach, bez uwzględnienia rozpadu promieniotwórczego,

– sumaryczną aktywność odpadów zgromadzonych w KSOP-Różan, w przedziale lat 1961 – 1994, z uwzględnieniem rozpadu promieniotwórczego na 31.12.1994 r.



Rys. 3. Aktywności odpadów promieniotwórczych składowanych w KSOP-Różan

Tablica 2. Zestawienie izotopów w składowisku RÓŻAN, od 01.01.1961 do 31.12.1994

Izotopy	Aktywność całkowita	
	bez rozpadu	rozpad na dzień 31.12.1994
Ag-110	509.4333	0.000
Am-241	5430.971	5380.365
As-74	0.233	0.000
As-77	7.143	0.000
Ba-133	2.625	0.710
Be-7	0.233	0.000
Bi-207	0.500	0.472
Br-82	3.000	0.000
C-14	8106.119	8093.304
Ca-45	657.086	3.889
Cd-109	9.232	2.352
Cd-115m	0.010	0.000
Ce-144	952.246	0.086
Cl-36	123.472	123.467
Cm-242	3000.000	61.831
Co-57	76.025	0.080
Co-58	266.667	0.027
Co-60	1315178.820	266818.245
Cr-51	2355.371	289.784
Cs-134	4140.004	3783.490
Cs-137	569831.382	389323.586
Cu-64	136.036	0.000
Eu-152	5274.150	2473.394
Eu-154	5548.917	1815.086
Fe-55	417.263	0.238
Fe-59	2528.408	80.065
H-3	28906.634	15815.623
Hg-203	0.553	0.000
I-124	25.000	0.000
I-125	721371.288	391.586
I-131	2706.439	8.706
Ir-190	150.000	0.000
Ir-192	2109702.060	3476.002
K-40	5.000	5.000
Kr-85	7189.088	4709.815
Kr-90	50.000	0.000
La-142	87.500	0.000
Mn-54	102.500	0.000
Mo-99	270.303	0.000
Na-22	6.383	1.605
Na-24	7102.500	0.000
Ni-63	700.451	681.354
P-32	6930.306	862.302
Pb-210	454.419	174.733
Pm-145	135.135	132.849
Pm-147	4731.131	235.387
Po-210	159054.969	0.534
Pu-238	5463.892	5373.623
Pu-239	62984.961	62975.007
Ra-226	9348.905	9288.997
Rb-86	150.000	0.000
Rh-106	2.000	0.000
Ru-106	1387.104	24.832
S-35	15281.008	8320.111
Sb-124	105.913	0.041
Sb-125	24.000	0.014
Sc-46	358.500	0.073

cd. tabl. 2

Izotopy	Aktywność całkowita	
	bez rozpadu	rozpad na dzień 31.12.1994
Se-75	445.845	0.062
Sn-113	678.595	319.342
Sr-85	40.141	1.987
Sr-89	505.717	0.000
Sr-90	34178.164	24936.457
Ta-182	26.500	0.000
Tc-99	1326.542	1326.536
Tc-99m	22.608	0.000
Te-127	20.000	0.000
Th-230	328.300	328.230
Th-232	458.251	458.251
Tl-204	8098.386	2323.822
Tm-170	3492.967	0.000
U-235	244.540	244.540
U-236	1.203	1.203
U-238	37713.391	37713.391
W-185	0.250	0.000
Xe-133	0.500	0.000
Y-90	3821.367	0.000
Yb-169	37127.533	0.000
Zn-65	47431.555	16.146
Zn-69	7105.500	0.000
Razem	5252411.140	858398.632

2.4. EKSPLOATACJA SKŁADOWISKA KSOP-RÓŻAN

2.4.1. Organizacja odbioru i składowania

Przeznaczone do składowania odpady promieniotwórcze – odpowiednio opakowane, zabezpieczone i oznakowane – są dostarczane do KSOP-Różan przez pracowników ZDUOP-IEA. Odpady te mają tzw. „Kartę ewidencyjną odpadów promieniotwórczych”, zawierającą wymaganą charakterystykę dostarczonych odpadów. Opierając się na zawartych w niej danych, dokonuje się wyboru odpowiedniego miejsca na ich składowanie.

Odpady przekazywane są do KSOP-Różan protokolarnie. Z chwilą przyjęcia odpadów obowiązek ich ewidencji, uwzględniającej m.in. miejsce i datę składowania, spoczywa na pracownikach składowiska.

2.4.2. Technologia składowania

Opakowanie odpadów stanowią bębny stalowe, ocynkowane lub lakierowane dwustronnie, a w przypadku odpadów o nietypowych kształtach i dużych gabarytach – folia lub stalowe

we pojemniki specjalne, w zależności od charakteru skażenia i mocy dawki.

Składowanie odpadów w obiekcie nr 1

Obiekt nr 1 przeznaczony jest do okresowego składowania odpadów alfa-promieniotwórczych oraz do okresowego przechowywania skażonych instalacji i urządzeń przeznaczonych do ponownego użytkowania.

Stałe lub zestalone odpady alfa-promieniotwórcze umieszczone są w jednej wybranej komorze, aż do jej całkowitego wypełnienia. Po wypełnieniu komory następuje jej odcięcie od pozostałych przez zamknięcie lub zamurowanie.

Igły i aplikatory radowe, zabezpieczone zgodnie z wyżej podanym opisem, składowane są w wydzielonej komorze obiektu nr 1.

Składowanie odpadów w obiekcie nr 8

W obiekcie nr 8, który jest fragmentem starej fosy otaczającej fort, składowane są wszystkie przywożone do KSOP-Różan odpady z wyjątkiem alfa-promieniotwórczych. Dla zapewnienia właściwych warunków składowania odpadów dno i ściany fosy pokryte zostały warstwą betonu o grubości 20 cm. Dno fosy pokryte jest dodatkowo warstwą asfaltu.

Pojemniki z odpadami układane są pojedynczymi warstwami. Następnie, po oszalowaniu zalewane są betonem. Szalunki zabezpieczają przed rozplynięciem się betonu i odsłonięciem pojemników. Grubość warstwy betonu w każdym kierunku nie powinna być mniejsza niż 5 cm.

Górna, ostatnia warstwa pokrywana jest dodatkowo betonem, a następnie asfaltem.

Odpady o największej wartości mocy dawki składowane są na dnie fosy.

Zabetonowane opakowania z odpadami w opisany wyżej sposób tworzą konstrukcję stalowo-betonową, której wytrzymałość zapewnia trwałość tej konstrukcji w okresie składowania.

Ciężar pojemników zawierających odpady waha się w granicach od ok. 50 kg (hobok o poj. 50 dm³ wypełniony odpadami stałymi) do ok. 900 kg (beczka z warstwą berylo-betonu). Najcięższe pojemniki ustawiane są na dnie fosy.

Uwzględniając najbardziej niekorzystny przypadek, w którym najłatwiej zgniatalny pojemnik, tzn. hobok o poj. 50 dm³ znajdzie się jednak na dnie fosy, na tym pojemniku zaś zostaną ustawione w siedmiu warstwach beczki z osłoną berylo-betonu, nacisk na hobok, którego powierzchnia wynosi 1250 cm² będzie równy ok. 7 T (7 × 900 kg – ciężar beczek z odpadami + 7 × 75 kg – ciężar warstw betonu przypadającego na powierzchnię hoboka).

Z badań przeprowadzonych w IEA wynika, że do zgniecenia takiego hoboka niezbędny jest nacisk 300 T, zaś do jego deformacji w stopniu ujemnie wpływającym na trwałość konstrukcji tworzonej przez zabetonowane odpady, wymagany jest nacisk nie mniejszy niż 100 T.

Nie zachodzi więc obawa, aby nawet w tym hipotetycznym przypadku nastąpiło istotne obniżenie trwałości tej konstrukcji.

Składowanie zamkniętych źródeł promieniowania w obiekcie nr 3a

Zamknięte źródła promieniowania składowane są w jednej z podziemnych betonowych komór obiektu nr 3a. Komora składowania połączona jest z lukiem zrzutowym rurą ϕ ok. 300 mm. Obecnie eksploatowana jest druga z osiemnastu komór. Pierwsza, po zakończeniu jej użytkowania w 1992 r. została w 1993 r. zaizolowana betonem zawierającym tzw. włókna duńskie ułatwiające szczelne wypełnienie przestrzeni komór i zapobiegające powstawaniu pęknięć w betonie.

Źródła zamknięte przywożone są do KSOP-Różan w pojemnikach osłonowych. Składowane jest samo źródło po jego wyjęciu, za pomocą manipulatorów, z pojemnika.

2.5. OCHRONA RADIOLOGICZNA KSOP-RÓŻAN

Zgodnie z ustawą „Prawo atomowe” i zarządzeniem Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki składowisko odpadów promieniotwórczych w Różanie ma status „Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych”.

Tego typu obiektom stawiane są szczególnie wysokie wymagania w zakresie ochrony radiologicznej. Ich budowa, eksploatacja, modernizacja czy likwidacja wymaga specjalnego

zezwolenia (licencji) Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki. W zezwoleniu określone są szczegółowe warunki dotyczące zagadnień technicznych, organizacyjnych, prawnych itd., których spełnienie zapewnia bezpieczeństwo radiacyjne obiektu, jego otoczenia i ludzi.

Sytuacja radiacyjna na terenie i w otoczeniu eksploatowanego obiektu składowiska musi być kontrolowana w sposób ciągły. Wymaga to rozbudowanych, sprawnie funkcjonujących systemów kontroli radiologicznej oraz stałego nadzoru odpowiednich służb państwowych oraz kompetentnych władz i instytucji.

2.5.1. Zakres kontroli radiologicznej środowiska na terenie i w otoczeniu KSOP-Różan

Celem kontroli radiologicznej jest dostarczenie informacji o sytuacji radiacyjnej na terenie i w otoczeniu KSOP-Różan, pozwalających na ocenę aktualnego stanu ochrony przed promieniowaniem oraz na podjęcie, jeżeli zachodzi potrzeba, odpowiednich decyzji i działań.

Kontrola radiologiczna KSOP-Różan polega, ogólnie mówiąc, na prowadzeniu ciągłych i okresowych pomiarów radiometrycznych i dozymetrycznych na terenie i w obiektach składowiska oraz w jego otoczeniu w celu określenia:

- radioaktywności głównych elementów składowych środowiska naturalnego,
- poziomu promieniowania gamma na terenie i w okolicy składowiska,
- narażenia indywidualnego osób zatrudnionych w składowisku,
- zagrożenia w obiektach i na terenie składowiska.

Kontrola radiologiczna składowiska i otoczenia była prowadzona systematycznie od czasu jego uruchomienia, tj. od 1961 roku. Organizacja, zakres i metody tej kontroli odpowiadały poziomowi ówczesnej wiedzy oraz możliwościom technicznym i nie odbiegały od ówczesnych standardów światowych.

W 1969 r. Zakład Ochrony przed Promieniowaniem byłego Instytutu Badań Jądrowych opracował i wdrożył pierwszy program kontroli radiologicznej składowiska odpadów w Różanie i jego otoczenia. W ramach tego programu za-

kres monitoringu środowiska i działalność kontrolna w zakresie ochrony przed promieniowaniem uległy bardzo znacznemu rozszerzeniu.

W latach następnych program ten był wielokrotnie weryfikowany i rozszerzany zarówno w miarę gromadzenia wiedzy i doświadczeń, jak i w związku z rozwojem i doskonaleniem urządzeń i technik pomiarowych.

W ramach obecnie obowiązującego programu kontroli stanu ochrony przed promieniowaniem KSOP-Różan pomiarami radioaktywności objęte są następujące elementy środowiska naturalnego:

- gleba i trawa; pomiary wykonywane są dwa razy w roku, a próby pobierane są każdorazowo z czterech punktów kontrolnych,
- zboża (żyto); pomiary wykonywane są raz w roku, próby pobierane są w okresie żniw z dwóch różnych miejsc,
- wody gruntowe; pomiary wykonywane są cztery razy w ciągu roku, próby pobierane są każdorazowo z ośmiu odwiertów na terenie składowiska i z czterech odwiertów poza jego terenem,
- woda z rzeki Narew; pomiary wykonywane są cztery razy w roku, próbki wody pobierane są z trzech punktów nurtu przybrzeżnego rzeki: powyżej, vis a vis i poniżej terenu składowiska,
- woda wodociągowa z terenu składowiska; pomiary wykonywane są cztery razy w roku,
- woda studzienna z dwóch okolicznych gospodarstw; pomiary wykonywane są cztery razy w roku,
- powietrze atmosferyczne na terenie KSOP; pomiar ciągły,
- woda z czterech źródełek na skarpie między KSOP a Narwią; pomiar wykonywany cztery razy w roku.

Łącznie w roku pobieranych jest około 100 prób środowiskowych i około 50 prób powietrza. Wszystkie próby środowiskowe poddawane są pomiarom radiometrycznym, na podstawie których określana jest globalna zawartość substancji betapromieniotwórczych. Ponadto corocznie wykonuje się kilkadziesiąt analiz spektrometrycznych prób środowiskowych i analiz wód na zawartość trytu.

W 1993 r. do systemu monitoringu włączone stanowisko do ciągłego zbierania aerozoli atmosferycznych w centralnej części składowiska. W ramach obowiązującego programu kontroli radiologicznej KSOP-Różan prowadzone są również systematyczne pomiary poziomu promieniowania gamma na terenie i poza terenem składowiska.

Wszystkie wyniki pomiarów radioaktywności elementów składowych środowiska naturalnego są ewidencjonowane w książkach pomiarowych Służby Ochrony Radiologicznej Instytutu Energii Atomowej. Wyniki kontroli dozymetrycznych przeprowadzonych w KSOP-Różan rejestrowane są w protokołach dozymetrycznych.

Roczne sprawozdania ze stanu ochrony radiologicznej na terenie i w okolicy KSOP-Różan przekazywane są do Państwowego Inspektoratu Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej (PIBJiOR), PAA, Wojewody Ostrołęckiego oraz Zarządu Miasta i Gminy Różan.

2.5.2. Ocena stanu ochrony radiologicznej KSOP-Różan i otoczenia

Analiza wyników wieloletnich badań, omówionych powyżej, w świetle obowiązujących przepisów i norm w zakresie ochrony radiologicznej wskazuje, iż eksploatacja KSOP-Różan ani obecnie, ani w przeszłości, nie powodowała żadnych zauważalnych negatywnych skutków dla środowiska naturalnego i okolicznych mieszkańców. Jednakże dla uzyskania w pełni obiektywnej oceny wpływu składowiska na środowisko naturalne, prowadzone są (już od 1966 r.) badania porównawcze radioaktywności takich samych elementów składowych środowiska jak dla KSOP-Różan (gleba, trawa, zboża, woda, powietrze) w tzw. punktach odniesienia. Wybrany do prowadzenia badań porównawczych punkt odniesienia musi znajdować się poza wpływem jakiegokolwiek obiektów stosujących źródła promieniotwórcze. Wyniki pomiarów wykonywanych w punkcie odniesienia traktowane są jako naturalne tło promieniowania otoczenia. Dla KSOP-Różan punktem odniesienia jest Góra Kalwaria.

Wyniki pomiarów zawartości substancji beta-promieniotwórczych na terenie i w otoczeniu KSOP-Różan oraz wyniki badań porównawczych przeprowadzonych równocześnie w Górze Kalwarii (punkt odniesienia) przedstawiono w tablicy 3.

Na podstawie analizy tych wyników można stwierdzić, że od 1966 r. poziomy zawartości substancji promieniotwórczych w środowisku naturalnym w otoczeniu KSOP-Różan nie odbiegają od poziomów zarejestrowanych w punkcie odniesienia (i innych miejscach kontrolnych).

Istotnym uzupełnieniem do oceny bezpieczeństwa KSOP-Różan są wyniki prac, realizowanych przez Państwowy Instytut Geologiczny (PIG), w zakresie modelowania migracji nuklidów w środowisku dla założonych, różnych scenariuszy uwolnień. Scenariusze te uwzględniają trwałość poszczególnych barier ochronnych (materiał zestalenia, opakowanie, obiekty, w których składowane są odpady), warunki geologiczne, hydrologiczne, geochemiczne, meteorologiczne, procesy erozji w długich okresach czasu i szereg innych czynników.

Wyniki prac PIG będą miały szczególne znaczenie także dla etapu ostatecznego zamknięcia KSOP-Różan i dla zabezpieczenia go na okres poeksploatacyjny.

2.5.3. Organizacja działalności kontrolnej w zakresie ochrony radiologicznej KSOP-Różan

Systematyczne pomiary radiometryczne i dozymetryczne w zakresie omówionym w p. 2.5.1, na terenie i w otoczeniu składowiska prowadzi Służba Ochrony Radiologicznej IEA (SOR-IEA). Zakład ten prowadzi również okresowe, szczegółowe inspekcje w KSOP w zakresie spraw związanych z ochroną radiologiczną.

Niezależną działalność kontrolną w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej prowadzi w KSOP-Różan Państwowy Inspektorat Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej (PIBJiOR). Okresowe kontrole prowadzone przez PIBJiOR dotyczą wszystkich zagadnień natury technicznej, organizacyjnej, prawnej itd., mających wpływ na bezpieczne dla środowiska naturalnego i ludzi funkcjonowanie składowiska.

Tablica 3. Zawartość substancji betapromieniotwórczych w środowisku naturalnym na terenie i w otoczeniu KSOP w Róźnie (na podstawie sprawozdań Służby Ochrony Radiologicznej IEA)

L.p.	Rodzaj próby i miejsce pobrania	Jednostki	1966 – 1987 ¹⁾	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994 ²⁾
1	WODA RZECZNA Narew – powyżej KSOP Narew – poniżej KSOP Narew – część środkowa Wisła – Góra Kalwaria ⁴⁾	Bq/l	0,11 – 0,70	0,23	0,20	< 0,10	0,18	0,14	0,13	0,12 – 0,16
			0,11 – 0,52	0,25	0,21	0,12	0,14	0,10	0,11	0,09 – 0,26
			0,15 – 0,51	0,24	0,19	0,12	0,15	0,12	0,11	0,10 – 0,22
			0,15 – 0,89	0,29	0,20	0,19	0,19	0,17	0,20	0,17 – 0,25
2	WODA GRUNTOWA Terren KSOP Okolice KSOP	Bq/l	0,15 – 0,89	0,26	0,21	< 0,10	0,11	0,21	0,24	0,06 – 0,79
			-	0,26	0,17	< 0,11	0,09	0,12	0,13	0,06 – 0,17
3	WODA STUDZIENNA Studnia 1 Studnia 2	Bq/l	-	0,24	0,19	0,17	0,09	0,07	0,07	0,06 – 0,22
			-	0,24	0,19	0,10	0,09	0,07	< 0,06	0,10 – 0,21
4	WODA WODOCIĄGOWA Terren KSOP	Bq/l	-	0,22	0,16	< 0,10	0,08	0,07	0,12	0,07 – 0,20
			-	0,22	0,18	< 0,10	0,09	0,10	0,11	0,06 – 0,20
6	GLEBA Okolice KSOP Góra Kalwaria ⁴⁾	kBq/kg s.m. ³⁾	0,29 – 0,58	0,44	0,40	0,56	0,44	0,54	0,59	0,34 – 0,62
			0,20 – 0,59	0,26	0,31	0,31	0,30	0,26	0,29	0,26 – 0,38
7	TRAWA Okolice KSOP Góra Kalwaria ⁴⁾	kBq/kg s.m.	0,36 – 0,92	0,59	0,65	0,70	0,63	0,71	0,70	0,38 – 1,00
			0,43 – 0,93	0,53	0,64	0,57	0,46	0,72	0,73	0,48 – 0,93
8	ZBOŻE Okolice KSOP Góra Kalwaria ⁴⁾	kBq/kg s.m.	-	0,14	0,15	0,13	0,14	0,14	0,13	0,13 – 0,15
			-	0,11	0,13	0,13	0,15	0,12	0,12	0,14 – 0,15

1) wartość min. – wartość maks. z wyników pomiarów dla poszczególnych lat

2) wartość min. – wartość maks. z wyników pomiarów dla poszczególnych kwartałów

3) s.m. oznacza przeliczenie na suchą masę

4) punkt odniesienia (w rejonie miejscowości Góra Kalwaria nie ma obiektów stwarzających zagrożenie radiologiczne)

W zakres tych kontroli zawsze m.in. wchodzi zbadanie zgodności postępowania użytkownika (ZDUOP-IEA) z warunkami eksploatacji KSOP-Różan, określonymi w zezwoleniu Prezesa PAA.

Poza planowanymi, okresowymi kontrolami PIBJiOR przeprowadza kontrole nadzwyczajne, np. na polecenie Prezesa PAA. Istnieje więc możliwość natychmiastowego działania w przypadku nawet domniemanego jedynie zagrożenia dla ludzi i środowiska w związku z eksploatacją składowiska.

2.6. NADZÓR NAD DZIAŁALNOŚCIĄ KSOP-RÓŻAN

Działalność związana ze składowaniem odpadów promieniotwórczych nadzorowana i kontrolowana jest przez instytucje zobowiązane do tego przez przepisy prawne obowiązujące w kraju.

W imieniu Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki nadzór nad funkcjonowaniem KSOP-Różan sprawują:

- Główny Inspektor Dozoru Jądrowego, poprzez Państwowy Inspektorat Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej,
- Departament Ochrony Radiologicznej i Obrony Cywilnej PAA.

Funkcje nadzorcze i kontrolne pełnią również różne organy państwowe i społeczne działające na terenie, gdzie składowisko jest zlokalizowane (województwo, władze gminne, komisje społeczne, służby ochrony środowiska i inne).

Zakres kompetencji poszczególnych instytucji, jeśli nie jest uregulowany przez przepisy państwowe, jest ustalany w odpowiednich porozumieniach. Przykładem jest działalność Społecznej Komisji Ochrony Radiologicznej w Róźnie.

Na całym świecie składowanie odpadów promieniotwórczych budzi społeczne emocje i obawy. Z tego też względu cała działalność z tym związana powinna być otwarta na społeczny nadzór i kontrolę. Doświadczenia zagraniczne i nasze własne krajowe wskazują, że jest to najwłaściwsza droga do akceptacji społecznej. Należy bowiem pamiętać, że jedyną prawdziwą uciążliwością związaną z istnieniem składowiska na danym terenie jest „uciążliwość psychologiczna”.

Sytuacja taka ma miejsce również w przypadku KSOP-Różan. Składowisko to budzi obawy i lęki poprzez sam fakt swego istnienia. Te obawy i lęki należy jednak traktować poważnie jako realnie istniejący fakt społeczny, mimo iż nie mają one podstaw w świetle faktów materialnych. Te zaś w sposób niewątpliwy i jednoznaczny świadczą, że składowisko jest eksploatowane z zachowaniem wszelkich niezbędnych środków bezpieczeństwa i nie stwarza żadnego zagrożenia dla środowiska naturalnego i zdrowia mieszkańców. Potwierdzają to nie tylko wyniki badań, kontroli i inspekcji prowadzonych przez właściwe, wyspecjalizowane służby państwowe podległe Prezesowi PAA, ale również protokoły i raporty szeregu całkowicie niezależnych komisji, krajowych i zagranicznych, skupiających uznane autorytety naukowe oraz wysokiej klasy specjalistów i ekspertów.

„Zagrożenie środowiska naturalnego przez składowisko odpadów promieniotwórczych” było przedmiotem badań m.in.:

- specjalnej Komisji Krajowej utworzonej przez Przewodniczącego Komisji Ochrony Radiologicznej Rady Sanitarno-Epidemiologicznej przy Głównym Inspektorze Sanitarnym Kraju,
- Wojewódzkiej Stacji Sanitarno-Epidemiologicznej w Ostrołęce, która dla oceny sytuacji radiacyjnej w KSOP-Różan i w otoczeniu, przeprowadziła szeroko zakrojone badania porównawcze radioaktywności środowiska.

Sprawą tą zajmowała się również Misja Programu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (WAMAP), która odwiedziła Polskę w dniach 12 – 16 czerwca 1989 r. na zaproszenie skierowane w imieniu rządu polskiego do Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) przez Prezesa PAA.

Eksperti MAEA przeanalizowali i ocenili wszystkie problemy związane z gospodarką odpadami radioaktywnymi w Polsce, a w szczególności:

- stosowane technologie unieszkodliwiania odpadów,
- składowanie odpadów,
- metody i środki bezpieczeństwa,
- systemy kontroli radiologicznej,
- organizację i działalność służb państwowych w zakresie nadzoru i kontroli.

Wyniki prac oraz oceny i wnioski ww. komisji zawarte w stosownych dokumentach (protokoły i raporty) jednoznacznie wskazują, że eksploatacja KSOP-Różan nie stwarza zagrożenia radiacyjnego dla otaczającego środowiska i mieszkańców.

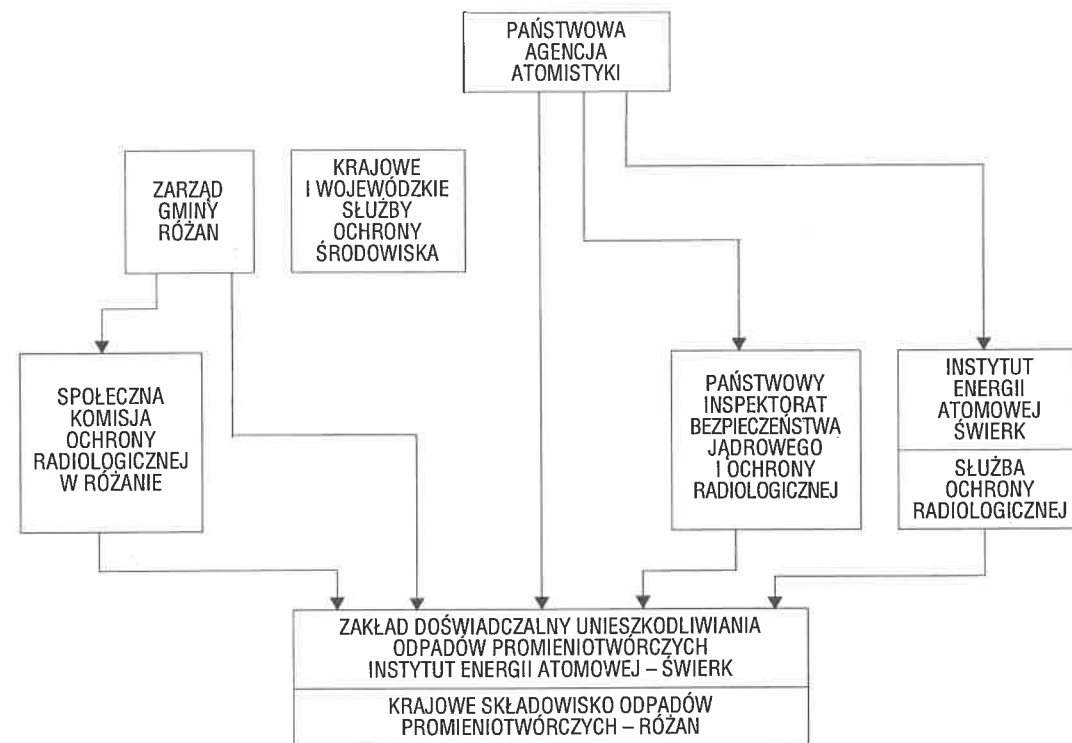
Jednakże opinie i zachowania społeczne wynikają nie tylko z racjonalnych przesłanek, ale kształtowane są również przez złożone i nie zawsze możliwe do określenia czynniki ze sfery psychiki i psychologii społecznej, w których np. tkwi głęboko syndrom Hiroszimy czy Czarnobyla.

Dlatego nie można odmówić pewnej racji poglądom, iż obecność składowiska na danym

terenie może oddziaływać ujemnie na lokalną sytuację gospodarczą, np. poprzez zniechęcający wpływ na potencjalnych inwestorów. Z tego właśnie względu Prezes PAA wystąpił do Rządu i Sejmu z inicjatywą ustawowego uregulowania sprawy opłat wyrównawczych dla gminy, w której jest lub będzie zlokalizowane czynne składowisko odpadów promieniotwórczych.

Odpowiednie regulacje prawne wprowadzono do ustawy „Prawo atomowe” w 1994 r. (Dz.U. z 1994 r., Nr 90, poz. 418).

Na rys. 4 przedstawiono schemat organizacji nadzoru i kontroli nad składowaniem odpadów promieniotwórczych w Polsce.



Rys. 4. Schemat organizacji nadzoru i kontroli nad składowaniem odpadów promieniotwórczych w Polsce

2.7. PERSPEKTYWICZNE MOŻLIWOŚCI SKŁADOWANIA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W KSOP-RÓŻAN

Sprawa eksploatacji po roku 1996 składowiska w Różanie ma aspekt społeczny i techniczny. Ten pierwszy dotyczy akceptacji i woli społeczności gminy Różan do wyrażenia zgody na dalszą eksploatację składowiska (dotychczasowe obowiązuje do grudnia 1996), przy czym horyzont czasowy powinien być wtedy co najmniej 15-letni. Wiąże się to przede wszystkim z koniecznością wykonania kosztownych prac zabezpieczających nowe miejsca składowania np. w dalszej części fosy (obiekt nr 8).

Aspekt techniczny związany jest zarówno z pojemnością wynikającą z kubatury ewentualnych do wygospodarowania miejsc do składowania, jak i z analizą bezpieczeństwa radiologicznego. Bezpieczeństwo radiologiczne należy rozpatrywać w tym przypadku biorąc pod

uwagę bariery ochronne (sztuczne i naturalne) w powiązaniu z rodzajem odpadów (głównie chodzi o aktywność, skład radiochemiczny oraz formę chemiczną).

Prace związane z bezpieczeństwem radiologicznym KSOP-Różan prowadzone są obecnie przez IEA w kooperacji z PIG.

Zakładając pewną pesymizację można przyjąć, że w ciągu najbliższych 15 lat będzie powstawało w Polsce w ciągu roku ok. 200 m³ odpadów promieniotwórczych. Zatem do składowania w ciągu 15 lat będzie ok. 3000 m³ odpadów. Przyjmując, że odpady na składowisku zajmują ok. 60% objętości, niezbędna kubatura składowiska wynosi ok. 5000 m³ (w rzeczywistości będzie ona znacznie niższa). Nie powinno być zatem problemów z przyjęciem i składowaniem w KSOP-Różan jeszcze 5000 m³ odpadów, nawet gdyby były to tylko odpady beta- i gammapromieniotwórcze składowane w fosie (1 mb fosy w przeliczeniu na kubaturę składowiska, to ok. 60 m³).

Notka o autorach

Włodzimierz Tomczak – mgr chemii, Dyrektor Zakładu Doświadczalnego Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych IEA, Świerk

Janusz Cholerzyński – mgr inż. chemik, Zastępca Dyrektora ZDUOP-IEA, Świerk

STRATEGIA GOSPODARKI ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI I WYPALONYM PALIWEM JĄDROWYM W POLSCE NA TLE ROZWIĄZAŃ PRZYJĘTYCH W NIEKTÓRYCH KRAJACH EUROPEJSKICH

Janusz Włodarski

I. STRATEGICZNY PROGRAM DZIAŁAŃ W ZAKRESIE GOSPODARKI ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI I WYPALONYM PALIWEM JĄDROWYM W POLSCE

1. WSTĘP

Jedną z istotnych funkcji Państwa, wynikającą z obowiązku zapewnienia bezpieczeństwa obywateli, jest stworzenie warunków niezbędnych dla prawidłowej gospodarki odpadami promieniotwórczymi powstającymi w wyniku wytwarzania i stosowania źródeł i materiałów promieniotwórczych.

Zagadnienia związane z gospodarką odpadami promieniotwórczymi należą do zakresu działania Państwowej Agencji Atomistyki (art. 46 p. 4 ustawy Prawo Atomowe, Dz. U. z 1986 r. nr 12, poz. 70; zm.: Dz. U. z 1987 r. nr 33, poz. 180, Dz. U. z 1991 r. nr 8, poz. 28, Dz. U. z 1994 r. nr 90, poz. 418).

Stosowana w naszym kraju klasyfikacja odpadów promieniotwórczych, źródła ich powstawania, jak również dotychczasowa gospodarka nimi obejmująca transport, ewidencję, unieszkodliwianie, przechowywanie i składowanie została szczegółowo opisana w poprzednich artykułach. Przedstawiono w nich postępowanie z odpadami nisko- i średnioaktywnymi beta- i gammadpromieniotwórczymi, jak również tymczasowe przechowywanie odpadów alfa-promieniotwórczych.

Zgromadzone zużyte źródła gamma o dużej aktywności, wykorzystywane w terapii nowotworowej i technice radiacyjnej, przechowywane są tymczasowo u użytkowników oraz w przechowalnikach w Instytucie Energii Atomowej (IEA).

Odrębną grupę wysokoaktywnych odpadów w Polsce stanowi wypalone paliwo jądrowe

z reaktorów badawczych. Paliwo to przechowywane jest tymczasowo w basenach wodnych w IEA. Dotychczasowa eksploatacja reaktorów spowodowała powstanie około 6000 elementów wypalonego paliwa jądrowego o różnym stopniu wzbogacenia.

W reaktorach EWA i MARIA używano następujących paliw jądrowych:

- EK-10,
- WWR-SM (i jego odmiana WWR-M2),
- MR-6.

Paliwa typu WWR-SM i WWR-M2 różnią się między sobą wyłącznie zawartością uranu-235.

Z uwagi na przewidywane uprzednio połączenie gospodarki tym paliwem z gospodarką wypalonym paliwem z polskich energetycznych reaktorów jądrowych (według planów aktualnych do 1991 r. wypalone paliwo miało być zwracane do kraju producenta paliwa – ZSRR), nie istnieje w kraju obecnie żaden konkretny program ostatecznego rozwiązania tego problemu.

Odpady wysokoaktywne i alfa-promieniotwórcze muszą być składowane w głębokich formacjach geologicznych. W przypadku wypalonego paliwa z reaktorów jądrowych, ze względu na jego początkową wysoką aktywność i generowanie ciepła, wymaga ono stosownego magazynowania okresowego (w przechowalnikach wodnych) przed ostatecznym składowaniem (lub przerobem). Potencjalne niebezpieczeństwo wykorzystania wypalonego paliwa do celów militarnych oraz podpisane przez Polskę konwencje wymagają odpowiedniego zabezpieczenia fizycznego wszystkich elementów jądrowego cyklu paliwowego, a więc także zma-

gazynowanego i ostatecznie składowanego wypalonego paliwa. Ze względu na długi okres – rzędu tysięcy lat – połowicznego rozpadu (czas, w którym aktywność zmniejsza się dwukrotnie) niektórych substancji promieniotwórczych zawartych w odpadach alfa-promieniotwórczych i wysokoaktywnych sposób składowania powinien zapewniać skuteczne ich odizolowanie od biosfery w czasie mierzonym w skali geologicznej.

Właściwa gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym warunkuje możliwość bezpiecznego i akceptowanego przez społeczeństwo stosowania techniki jądrowej oraz dalszego jej rozwoju, w tym także energetyki jądrowej. Ma to szczególne znaczenie obecnie, kiedy sprawy ochrony środowiska znajdują się w centrum uwagi społeczeństwa, a nowa sytuacja polityczna i gospodarcza zarówno w Polsce, jak też u naszych sąsiadów spowodowała dezaktualizację poprzednich planów (m. in. sprawa zwrotu do b. ZSRR paliwa wypalonego, wysokoaktywnych źródeł kobaltowych). Stwarza to nowe poważne problemy techniczne, finansowe i społeczne wymagające pilnego rozwiązania. Należy także podkreślić, że wobec potrzeby zdywersyfikowania źródeł energii w energetyce polskiej nie można pominąć alternatywy jaką jest energetyka jądrowa. Należy jednak pamiętać, że rozwiązanie problemu składowania odpadów promieniotwórczych powstałych w wyniku eksploatacji elektrowni jądrowych jest wstępnym, niezbędnym warunkiem w przypadku każdej konkretnej propozycji wprowadzania tej opcji energetycznej.

Z powyższego wynika, iż posiadanie koncepcji postępowania z przyszłymi odpadami warunkuje możliwość rozpoczęcia dyskusji na temat energetyki jądrowej w Polsce.

Przyjęcie założenia o włączeniu około roku 2010 do energetycznego systemu kraju elektrowni jądrowej wymaga rozpoczęcia już obecnie prac mających na celu określenie wymagań i warunków jakie powinna spełniać gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem z tej elektrowni. Należałoby też podjąć niezwłocznie prace nad koncepcją postępowania z przyszłymi odpadami.

Problemy powyższe wymagają określenia strategii Państwa w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi i wypalonym

paliwem czyli długoterminowego programu niezbędnych działań.

Podobny pogląd w tej sprawie wyrażały także międzynarodowe misje ekspertów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej oraz z krajów Unii Europejskiej oceniające gospodarkę odpadami promieniotwórczymi w Polsce.

2. ZAŁOŻENIA I STRATEGIA

Formułując konieczne do rozwiązania problemy techniczne i organizacyjne wzięto pod uwagę obecny stan w zakresie wykorzystania techniki jądrowej i izotopowej, zgromadzone dotychczas w kraju materiały promieniotwórcze oraz przyjęto następujące założenia:

- dalszy wzrost liczby użytkowników źródeł (zwłaszcza w medycynie) w tym także źródeł terapeutycznych o dużej aktywności,
- wzrost ilości odpadów alfa-promieniotwórczych związany z wycofywaniem radu z zastosowań medycznych,
- likwidacja reaktora Ewa (1995 r.), co spowoduje skokowy wzrost ilości odpadów,
- praca reaktora Maria co najmniej do 2010 r.,
- budowa nowego reaktora badawczego około roku 2005,
- konieczność rozwiązania problemu składowania już wypalonego paliwa jądrowego z reaktorów badawczych oraz wypalonego paliwa, które powstanie w wyniku dalszej eksploatacji reaktora(ów) badawczego(ych),
- powrót do programu energetyki jądrowej i eksploatację pierwszej EJ po roku 2010.

Analiza powyższych założeń prowadzi do jednoznacznego wniosku, że dalsza efektywna i bezpieczna gospodarka odpadami promieniotwórczymi w Polsce wymaga:

- zlokalizowania, zaprojektowania, wybudowania i uruchomienia nowego powierzchniowego składowiska odpadów promieniotwórczych nisko- i średnioaktywnych (a następnie zamknięcia obecnie eksploatowanego Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP) w Różanie),
- zlokalizowania, zaprojektowania, wybudowania i uruchomienia głębokiego składowiska wypalonego paliwa jądrowego, odpadów alfa-promieniotwórczych i odpadów wysokoaktywnych,

– zagospodarowania wypalonego paliwa jądrowego z reaktorów badawczych, przy jednoczesnym zmodyfikowaniu i wdrożeniu prawno-organizacyjnych zasad gospodarki odpadami promieniotwórczymi oraz zastosowaniu nowych technologii przetwarzania odpadów.

3. STRATEGICZNY PROGRAM RZĄDOWY

Ze względu na wagę, rozmiar i złożoność problemu, zagadnienie gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Polsce wymaga ustanowienia – na etapie prac badawczych, lokalizacyjnych i projektowych oraz wdrożeń wyników badań – specjalnego programu w postaci Strategicznego Programu Rządowego (SPR). Należy założyć, że główne prace inwestycyjne, będące wynikiem realizacji SPR, będą wykonywane jako inwestycje centralne – finansowane z budżetu Państwa, ewentualnie jako inwestycje finansowane (lub refinansowane) w całości lub w części przez przyszłego inwestora i eksploatatora polskich elektrowni jądrowych.

„Zasady ustanawiania Strategicznych Programów Rządowych” uchwaliła Rada Ministrów 1 marca 1993 r. Zgodnie z tymi „Zasadami ...”:

(...) Strategiczny Program Rządowy (SPR) jest to kompleksowe przedsięwzięcie o podstawowym znaczeniu dla różnych dziedzin życia społecznego lub gospodarczego.

(...) Przez SPR należy rozumieć przede wszystkim program przygotowania i prowadzenia działań, których wynikiem powinno być osiągnięcie celów ważnych dla całego Państwa.

(...) Jeżeli dla realizacji SPR niezbędne są badania naukowe i prace badawczo-rozwojowe wniosek o ustanowienie Programu powinien obejmować część badawczą, czyli odpowiednie projekty badawcze zawierające dane o tematyce, zakresie, programie i szacunkowych nakładach na ich realizację.

Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym jest z pewnością zagadnieniem o istotnym znaczeniu zarówno dla społeczeństwa jak i państwa. Doceniając wagę i złożoność tego problemu Państwowa Agencja Atomistyki opracowała i prze-

łożyła do uzgodnień międzyresortowych projekt **Strategicznego Programu Rządowego pt. „Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Polsce”** planowanego do zrealizowania w latach 1996 – 1998. Celem tego programu jest rozwiązanie głównych problemów technicznych związanych z odpadami powstającymi obecnie w naszym kraju, jak również przygotowanie materiałów niezbędnych do podjęcia dalszych decyzji. Uzgodniony projekt programu będzie przedłożony Rządowi do zatwierdzenia.

W ramach proponowanego **Strategicznego Programu Rządowego** przewiduje się realizację następujących zadań:

Opracowanie zbioru aktów prawnych i dokumentów (zgodnych z aktualnym prawodawstwem w Polsce, konwencjami międzynarodowymi i przepisami obowiązującymi w Unii Europejskiej) dotyczących gospodarki odpadami promieniotwórczymi (i wypalonym paliwem jądrowym),

w tym:

– Analiza stanu prawnego obejmującego wymagania konwencji międzynarodowych, umów bilateralnych i wielostronnych oraz przepisów obowiązujących w Polsce w zakresie gospodarki odpadami toksycznymi i promieniotwórczymi.

– Analiza wymagań dotyczących gospodarki odpadami toksycznymi i promieniotwórczymi obowiązujących w krajach Unii Europejskiej oraz wymagań i wytycznych organizacji międzynarodowych (np. Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej).

– Opracowanie procesu dostosowywania krajowych wymagań do wymagań Unii Europejskiej oraz wynikających z powyższych analiz projektów aktów prawnych koniecznych do wdrożenia.

Opracowanie i stworzenie systemu organizacyjnego gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Polsce,

w tym:

– Opracowanie zasad funkcjonowania instytucji przewidzianej do realizacji transportu, gromadzenia, przetwarzania, przechowywania i składowania odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego.

Opracowanie i wdrożenie nowych lub udoskonalonych metod i technologii przetwarzania odpadów promieniotwórczych,

w tym:

- Realizacja tematu badawczego „Zatężanie ciekłych odpadów promieniotwórczych nisko- i średnioaktywnych metodami membranowymi wraz z budową i uruchomieniem instalacji dla potrzeb Zakładu Doświadczalnego Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych IEA (ZDUOP-IEA) oraz wykonanie projektu instalacji przemysłowej (dla przyszłej energetyki jądrowej)”.
- Realizacja tematu badawczego „Unieszkodliwianie odpadów wysokoaktywnych za pomocą źródeł akceleratorowych”. (Wdrożenie tej metody unieszkodliwiania odpadów nie będzie możliwe w najbliższym czasie, jednakże wydaje się ona na tyle atrakcyjna, że celowe jest prowadzenie badań w tym zakresie.).

- Budowa i montaż instalacji wyparnej w ZDUOP-IEA.

Opracowanie koncepcji zagospodarowania odpadów promieniotwórczych pochodzących z likwidacji reaktora Ewa,

w tym:

- Inwentaryzacja (ilości i rodzaje odpadów).
- Opracowanie technologii unieszkodliwiania odpadów.
- Opracowanie koncepcji/adaptacji odpowiedniego miejsca składowania.

Przewiduje się wystąpienie o sfinansowanie wdrożenia wyników opracowania (w latach 1997 – 1998) przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej w Wiedniu (MAEA).

Opracowanie projektu ostatecznego zamknięcia Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie,

w tym:

- Opracowanie technologii postępowania z odpadami alfa-promieniotwórczymi tymczasowo składowanymi w KSOP w Różanie.
- Badanie wpływu procesów erozji powierzchniowej i liniowej, w powiązaniu ze zmianami klimatycznymi na trwałość zewnętrznych barier zamykających składowisko.
- Szczegółowa analiza wytrzymałości i trwałości zastosowanych w składowisku barier

inżynierskich (analiza w aspekcie oceny bezpieczeństwa zamknięcia obiektu),

- Dobór materiałów o wymaganych własnościach na warstwy drenażowe i wypełniające pomiędzy obiektami składowiska oraz na warstwy uszczelniające.
- Opracowanie projektu zamknięcia składowiska oraz planu działań w przypadku wystąpienia sytuacji nadzwyczajnych, a przede wszystkim :
 - określenie czasu instytucjonalnej kontroli oraz bieżących prac zabezpieczających prawidłowe działanie wszystkich elementów ochronnych składowiska po jego zamknięciu,
 - uregulowanie praw własnościowych i instytucjonalnej odpowiedzialności za zamknięte składowisko w okresie kontroli instytucjonalnej i późniejszym,
 - określenie środków finansowych na przygotowanie i ostateczne zamknięcie składowiska oraz na instytucjonalną kontrolę,
 - opracowanie zasad i sposobu przechowywania informacji o zawartości składowiska, jego konstrukcji i zabezpieczeniach oraz przygotowanie sposobu i systemu trwałego oznakowania, po zamknięciu składowiska, jego instalacji i miejsc o istotnym znaczeniu dla bezpieczeństwa ludzi i środowiska,
 - opracowanie założeń zintegrowanego monitoringu otoczenia składowiska,
 - opracowanie analizy bezpieczeństwa dla ostatecznego zamknięcia składowiska.

Opracowanie koncepcji ostatecznego zagospodarowania wypalonego paliwa jądrowego z reaktorów Ewa i Maria oraz poprawa obecnych warunków przechowywania tego paliwa,

w tym:

- Badanie stanu wypalonego paliwa po długotrwałym przechowywaniu w mokrych przechowalnikach (temat badawczy) w celu :
 - identyfikacji i izolacji uszkodzonego elementu paliwowego w przypadku zaobserwowania podwyższonych uwolnień do basenu przechowawczego,

- określenia terminu bezpiecznego składowania wypalonych elementów paliwowych w obecnych warunkach,
- sformułowania zaleceń dotyczących zmiany (polepszenia) warunków przechowywania wypalonego paliwa jądrowego w IEA.
- Rozeznanie i analiza możliwości wywozu paliwa wypalonego z kraju.
- Opracowanie koncepcji (wraz z wstępną analizą bezpieczeństwa) suchego, długoterminowego przechowywania paliwa wypalonego.
- Modernizacja istniejących przechowalników wodnych.

Przewiduje się następujące możliwości rozwiązania problemu ze zgromadzonym wypalonym paliwem z reaktorów badawczych (po okresowym przechowywaniu w basenach wodnych):

Rozwiązania ostateczne	Uwagi
wywóz paliwa za granicę	konieczność zawarcia umowy międzyrządowej (uwzględniającej także wywóz paliwa, wypalonego w reaktorze Maria w okresie jego dalszej planowanej pracy); prawdopodobnie konieczność odbioru wysokoaktywnych odpadów powstałych w wyniku przerobu
składowanie paliwa w głębokich formacjach geologicznych	brak obecnie tego typu składowiska
Rozwiązanie tymczasowe długoterminowe	
suchy przechwalnik wypalonego paliwa	czas przechowywania ok. 50 – 80 lat

Rozwiązania powyższe różnią się między sobą przede wszystkim zakresem przedsięwzięć niezbędnych do ich realizacji, skalą kosztów i trudności technicznych, a także przydatnością z punktu widzenia możliwych zachowań i reakcji społeczeństwa.

Nie można na obecnym etapie wybrać rozwiązania optymalnego.

Do podjęcia decyzji dotyczących dalszego postępowania z tym paliwem niezbędne jest zebranie odpowiednich danych i informacji, których uzyskanie umożliwi realizacja Strategicznego Programu Rządowego.

Po wybraniu rozwiązania problemu w wyniku realizacji programu przewiduje się wystąpienie do MAEA o pomoc techniczną.

Ustalenie lokalizacji i opracowanie Założeń Techniczno-Ekonomicznych nowego składowiska odpadów promieniotwórczych (SOP) nisko- i średnioaktywnych, w tym :

- Dokonanie oceny i doboru materiałów służących do budowy sztucznych barier ochronnych składowiska na podstawie kryteriów ekonomicznych i technicznych oraz warunków i wymagań w zakresie bezpieczeństwa radiacyjnego ludzi i środowiska (temat badawczy) określających:
 - wymagania konstrukcyjne,
 - trwałość,
 - długowieczność,
 - ochronę radiologiczną.
- Wybór lokalizacji i udokumentowanie warunków bezpieczeństwa dla powierzchniowego składowiska odpadów promieniotwórczych nisko- i średnioaktywnych;

- etap preselekcji (przeгляд i reinterpretacja materiałów archiwalnych),
- etap selekcji,
 - analizy społeczno-ekonomiczne,
 - analiza materiałów archiwalnych w zakresie: geologii i geochemii, hydrogeologii, warunków geologiczno-inżynierskich, hydrologii, klimatu, zasobów wodnych i mineralnych, demografii, użytkowania terenów, radiologii, ekologii i transportu,
 - badania terenowe i modelowe,
 - analiza bezpieczeństwa, waloryzacja rozpatrywanych lokalizacji,
- Wykonanie Założeń Techniczno-Ekonomicznych SOP wraz z analizą bezpieczeństwa:

- dla budowy i eksploatacji składowiska,
- dla zamknięcia i okresu poeksploatacyjnego składowiska.

Wytypowanie lokalizacji i opracowanie koncepcji składowiska odpadów promieniotwórczych w głębokich formacjach geologicznych.

- w tym:
- Wstępny wybór i udokumentowanie warunków bezpieczeństwa dla lokalizacji składowiska podziemnego (na głębokości poniżej 300 m);
 - opracowanie kryteriów wyboru lokalizacji,
 - analiza możliwości adaptacji istniejących wyrobisk górniczych,
 - poszukiwanie lokalizacji poza istniejącymi wyrobiskami,
 - wykonanie niezbędnych badań rozpoznawczych i geologiczno-górniczych dla wybranego wyrobiska lub innej lokalizacji,
 - opracowanie wstępnych analiz bezpieczeństwa dla okresu eksploatacji składowiska i po jego zamknięciu.
- Opracowanie koncepcji składowiska.
- #### Działania związane z informowaniem społeczeństwa w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi,
- w tym:
- Opracowanie i dobór różnych form przekazu informacji na temat powstawania odpadów promieniotwórczych i ich bezpiecznego składowania.
 - Działania edukacyjne ukierunkowane na wybrane grupy społeczne (zwłaszcza społeczności lokalne zamieszkujące w sąsiedztwie potencjalnej lokalizacji składowiska), których celem byłoby przekazanie niezbędnych wiadomości o gospodarce odpadami promieniotwórczymi (spotkania, wykłady, dyskusje),
 - działanie poprzez lokalnych działaczy samorządowych i politycznych,
 - wykorzystanie do działań informacyjno-edukacyjnych socjologów, psychologów, pedagogów i innych specjalistów w dziedzinie komunikacji społecznej,
 - wykorzystanie doświadczeń innych krajów.
 - Zrealizowanie dwóch filmów krótkometrażowych, popularno-naukowych oraz

przygotowanie publikacji książkowej o bezpiecznej gospodarce odpadami promieniotwórczymi.

Konieczność realizacji wszystkich powyższych zadań wynika ze względów bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, jak również ochrony środowiska i interesów społecznych. Są to zadania często wzajemnie powiązane, a realizowanie zadania lub jego zaniechanie może rzutować na powodzenie realizacji innych przedsięwzięć. Zadania są złożone i nie można obecnie przewidzieć precyzyjnych scenariuszy ich rozwiązania, gdyż istnieje, przynajmniej teoretycznie, wiele możliwych opcji ich realizacji.

Nie sposób też na obecnym etapie wskazać rozwiązania optymalne. Rezultaty wykonania poszczególnych zadań muszą być na bieżąco weryfikowane, a następne kroki postępowania ustalane z uwzględnieniem wzajemnych powiązań i osiągniętych wyników.

Sukcesy w realizacji niektórych zadań mogą ułatwiać rozwiązanie innych zagadnień. Rozwiązanie problemu wypalonego paliwa z reaktorów badawczych łączy się ściśle, w niektórych wariantach, z rozwiązaniem docelowego składowania odpadów alfa-promieniotwórczych. Jedną z możliwości ostatecznego rozwiązania problemu wypalonego paliwa jest jego wywóz i przerób za granicą. Wiązałoby się to z koniecznością odbioru (lub nie) powstałych w wyniku przerobu tego paliwa wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych.

W wariantcie bez odbioru odpadów problem paliwa byłby rozwiązany bardzo korzystnie ze społecznego punktu widzenia, niemniej i wówczas pozostanie nie rozwiązana sprawa odpadów z emiterami alfa. W przypadku jednak gdyby wariant ten okazał się niemożliwy do zrealizowania, najkorzystniejszym rozwiązaniem byłoby znalezienie bezpiecznego wyrobiska górniczego i zaadaptowanie go na składowisko wypalonego paliwa.

Zostałby wówczas rozwiązany w sposób ostateczny także problem odpadów alfa-promieniotwórczych, zużytych wysokoaktywnych źródeł terapeutycznych, a najprawdopodobniej także problem nowego składowiska odpadów nisko- i średnioaktywnych.

II. GOSPODARKA ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI I WYPALONYM PALIWEM JĄDROWYM W NIEKTÓRYCH KRAJACH EUROPY ZACHODNIEJ

W tej części artykułu przedstawiono informacje o gospodarce odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Finlandii, Francji i Hiszpanii w następującym układzie:

- podstawowe przepisy prawne dotyczące bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej ze szczególnym uwzględnieniem gospodarki odpadami promieniotwórczymi,
- struktura organizacyjna, w ramach której realizowana jest ww. gospodarka,
- klasyfikacja odpadów promieniotwórczych,
- charakterystyki eksploatowanych składowisk odpadów,
- prowadzone prace badawcze.

FINLANDIA

W Finlandii eksploatowane są cztery bloki jądrowe. Dwa bloki w EJ Olkiluoto z reaktorami wodnymi – wrzącymi (BWR 2 × 710 MWe) oraz dwa bloki w EJ Loviisa z reaktorami wodnymi – ciśnieniowymi (WWER 2 × 445 MWe). Udział tych elektrowni w krajowej produkcji energii elektrycznej wynosi 38%. Ponadto, w Badawczym Centrum Jądrowym w Espoo eksploatowany jest od 1962 r. reaktor badawczy.

1. STAN PRAWNY

Zagadnienia związane z wykorzystaniem energii jądrowej, w tym gospodarkę odpadami promieniotwórczymi, regulują w Finlandii trzy ustawy :

- **Ustawa o energii jądrowej** (Nuclear Energy Act, No 990/1987) – znowelizowana w 1988 r.,
- **Ustawa o ochronie radiologicznej** (Radiation Protection Act) – znowelizowana w 1988 r.,
- **Ustawa o odpowiedzialności za szkody jądrowe** (Nuclear Liability Act) – znowelizowana w 1989 r., oraz

– **rozporządzenie o energii jądrowej nr 161/1988 z 12 lutego 1988 r.**

Powyższe akty prawne określają odpowiedzialności poszczególnych instytucji zaangażowanych w procesie wykorzystywania energii atomowej, w tym także uczestniczących w gospodarce odpadami promieniotwórczymi, procedury licencjonowania i zasady finansowania.

Cele i plany gospodarki odpadami promieniotwórczymi zostały określone w decyzji Rządu z 1983 r.

2. STRUKTURA ORGANIZACYJNA

Zgodnie z powyższymi aktami prawnymi Minister Handlu i Przemysłu (MHiP) jest odpowiedzialny za nadzór nad stosowaniem energii jądrowej, za nadzór nad stosowaniem źródeł promieniowania jonizującego w przemyśle oraz za licencjonowanie (wydawanie zezwoleń na wykorzystywanie energii jądrowej), a także kieruje i nadzoruje działalnością związaną z gospodarką odpadami promieniotwórczymi oraz pracami badawczo-rozwojowymi w tej dziedzinie.

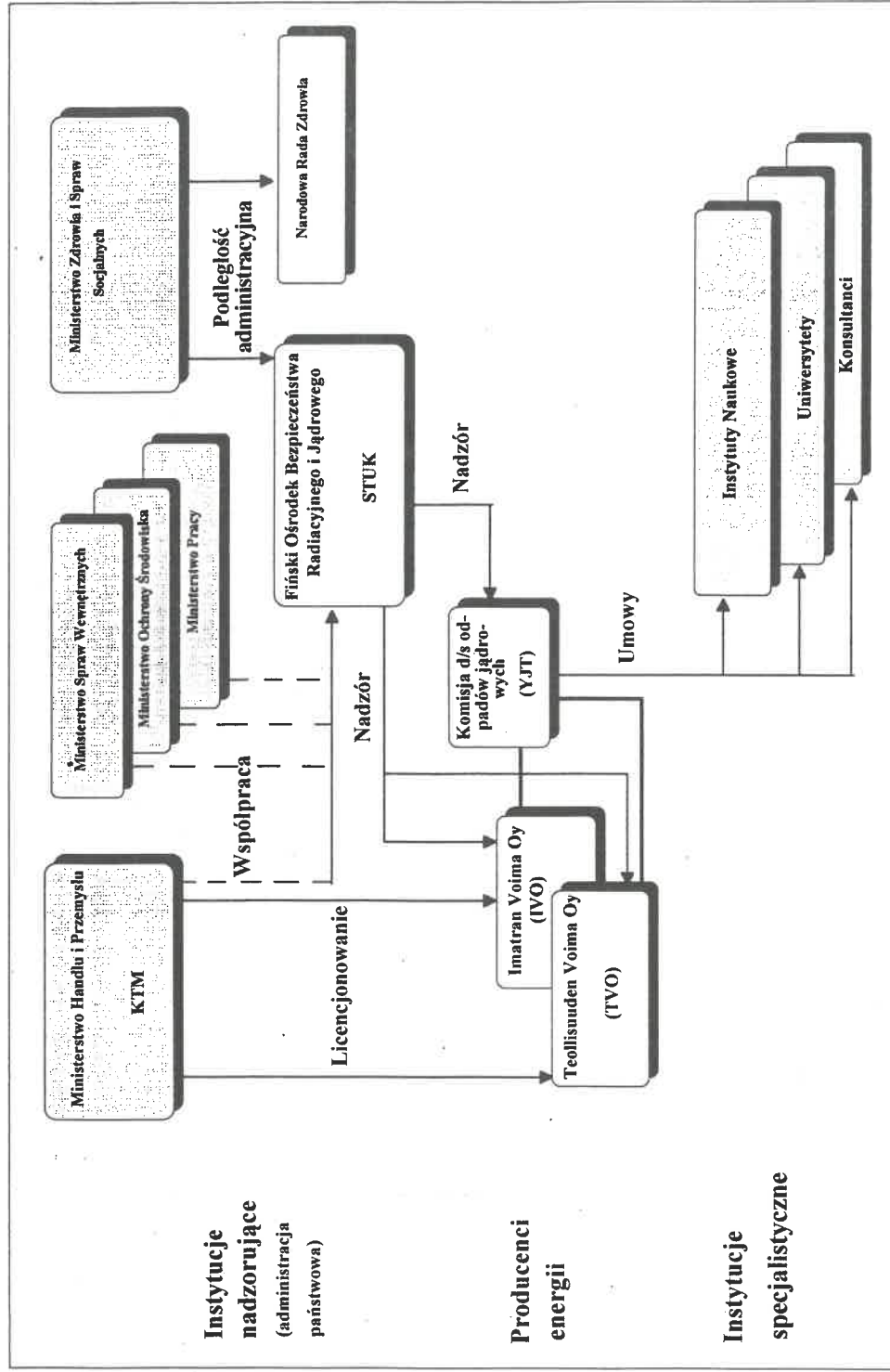
Schemat organizacyjny działalności w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi pokazano na rys. 1.

Część prac badawczych, koniecznych dla wykonania niezależnych ekspertyz, jest także finansowana przez MHiP.

W Ministerstwie Handlu i Przemysłu działa Komisja ds. Energii Atomowej (Atomic Energy Commission), która stanowi niezależną organizację spełniającą funkcje doradcze.

Odpowiedzialność za nadzór nad stosowaniem źródeł promieniowania jonizującego w medycynie ponosi Ministerstwo Zdrowia i Opieki Socjalnej.

Zezwolenia na stosowanie źródeł do celów medycznych wydaje Narodowa Rada Zdrowia.



Rys. 1. Organizacja i podział odpowiedzialności w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Finlandii

Fiński Ośrodek Bezpieczeństwa Radiacyjnego i Jądrowego (STUK) jest odpowiedzialny za przegląd i ocenę dokumentacji bezpieczeństwa, prowadzenie kontroli dotyczących przestrzegania przepisów bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej (bj i or) i warunków zezwoleń, wydawanie zezwoleń na stosowanie źródeł promieniowania jonizującego w przemyśle i nauce oraz opracowywanie opinii w sprawie wydawania zezwoleń na budowę i eksploatację obiektów jądrowych, **nadzór nad gospodarką odpadami promieniotwórczymi pochodzącymi z elektrowni jądrowych, w tym nadzór nad lokalizowaniem i budową składowisk odpadów promieniotwórczych**, prowadzenie kontroli osób narażonych zawodowo na promieniowanie jonizujące oraz kontrolę populacji, prowadzenie badań naukowych w dziedzinie bj i or.

Decyzje dotyczące podstawowych obiektów gospodarki odpadami promieniotwórczymi są podejmowane przez Rząd.

Producenci energii eksploatujący elektrownie jądrowe ponoszą odpowiedzialność za bezpieczną gospodarkę odpadami promieniotwórczymi i prowadzenie koniecznych prac badawczych, jak również za finansowanie tej gospodarki. Eksploatatorzy elektrowni jądrowych – Imatran Voima Oy (IVO – EJ Loviisa) i Teollisuuden Voima Oy (TVO – EJ Olkiluoto) – utworzyli Komisję ds. Odpadów Jądrowych (YJT), której głównym zadaniem jest koordynowanie prac badawczo-rozwojowych w dziedzinie odpadów. W pracach tych uczestniczy na podstawie zawartych umów szereg instytutów naukowych, uniwersytetów i innych instytucji (np. Technical Research Centre of Finland, Geological Survey of Finland). Komisja ds. Odpadów Jądrowych odpowiedzialna jest za opracowanie rocznego sprawozdania z przebiegu prac badawczo-rozwojowych oraz planu tych prac na rok następny, a także ogólnego programu prac na cztery lata.

Ministerstwo Handlu i Przemysłu określa opłaty roczne, jakie użytkownicy (producenci odpadów) powinni wносить do będącej pod kontrolą państwa Fundacji na rzecz odpadów promieniotwórczych (Nuclear Waste Fund). Z funduszy tych powinny być pokrywane w przyszłości koszty postępowania z odpadami. Środki

finansowe Fundacji są przeznaczone na działalność jednostek odpowiedzialnych za gospodarkę odpadami, w tym także na sfinansowanie kosztów zamknięcia przyszłych składowisk. Według przybliżonych obliczeń gospodarka odpadami promieniotwórczymi stanowi około 10% kosztów wytwarzania energii elektrycznej.

3. KLASYFIKACJA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

W Finlandii odpady promieniotwórcze z elektrowni jądrowych są zaliczane do trzech grup ogólnych:

- **odpady eksploatacyjne** (nisko- i średnioaktywne odpady reaktorowe – zużyte filtry wentylacji technologicznej, zużyte jonity, środki ochrony indywidualnej, skażona odzież i obuwie, ścieki aktywne powstające w wyniku przecieków chłodziwa reaktorowego, ścieki z regeneracji jonitów, ścieki z dekontaminacji instalacji technologicznych, ścieki z pralni odzieży skażonej),
- **odpady z likwidacji obiektów jądrowych** (nisko- i średnioaktywne – elementy konstrukcyjne reaktora, kaset i napędów regulacji, odcinki rurociągów, elementy pomp, armatura i in.),
- **wypalone paliwo jądrowe** (odpady wysokoaktywne).

Odpady promieniotwórcze powstają także w Badawczym Centrum Jądrowym w Espoo. Niewielkie ilości odpadów pochodzą również ze stosowania technik radiacyjnych w medycynie i przemyśle. Przepisy nie przewidują dla nich oddzielnej klasyfikacji.

W Finlandii nie ma ścisłych, jednoznacznych kryteriów (np. aktywność) zaliczania odpadów do poszczególnych grup. W EJ Loviisa funkcjonuje ogólna klasyfikacja uwzględniająca pochodzenie odpadów: zaaktywowane elementy rdzenia, filtry i zużyte jonity są zaliczane do odpadów średnioaktywnych, pozostałe odpady eksploatacyjne – z wyjątkiem wypalonego paliwa jądrowego – są zaliczane do odpadów niskoaktywnych.

W EJ Olkiluoto bębny z odpadami, na powierzchni których moc dawki jest mniejsza

od 0.75 mSv/h są traktowane jako odpady niskoaktywne, natomiast bębny z mocą dawki na powierzchni do 200 mSv/h są przechowywane oddzielnie i traktowane jako średnioaktywne. Dodatkowo, w przypadku EJ Olkiluoto zezwolono na ostateczne składowanie „odpadów bardzo niskoaktywnych” (tabela 1) w prostym (bez systemu multibarier) składowisku powierzchniowym (praktycznie jest to wysypisko śmieci). Takie rozwiązanie istnieje tylko w EJ Olkiluoto. „Odpady bardzo niskoaktywne” są zbierane w plastikowe worki. Waga worka z odpadami wynosi ok. 10 kg.

Tabela 1

Limity aktywności dla „odpadów bardzo niskoaktywnych”	
nuklid	aktywność (kBq/worek)
Cr - 51	1000
Mn - 54	300
Co - 58	100
Co - 60	100
Zn - 65	300
Ag - 110m	300
Cs - 134	20
Cs - 137	20

4. INFORMACJE O SKŁADOWISKACH ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Jak już było powiedziane wyżej, w Finlandii każdy z producentów odpadów promieniotwórczych (IVO, TVO) jest odpowiedzialny za gospodarkę tymi odpadami i opracowuje własne plany dotyczące tej gospodarki.

W EJ Loviisa (WWR 2 × 440 MWe) zużyte jonity i koncentraty są przechowywane w formie niezestalonej w ośmiu zbiornikach o pojemności 300 m³ każdy.

W EJ w Olkiluoto (BWR 2 × 710 MWe) odpady ciekłe są zatężane, następnie zestalane za pomocą asfaltowania i umieszczane w bębnach 200 l. Konfekcjonowane odpady, których moc dawki na powierzchni bębna nie przekracza 200 mSv/h są przechowywane w magazynie mogącym pomieścić 6000 bębnow. Bębny

z większą mocą dawki są przechowywane w specjalnie do tego celu przeznaczonym pomieszczeniu na terenie elektrowni. Po pewnym czasie odpady są przekazywane do składowiska ostatecznego znajdującego się w odległości około 1 km od elektrowni.

Planowanie, a następnie wstępne badania geologiczne związane ze składowiskiem ostatecznym dla odpadów nisko- i średnioaktywnych pochodzących z EJ Olkiluoto rozpoczęto w roku 1980 (wkrótce po uruchomieniu elektrowni). Wymagane analizy bezpieczeństwa i dokumentacja techniczna była przygotowana w końcu roku 1986. Na podstawie tej dokumentacji Fiński Ośrodek Bezpieczeństwa Radiacyjnego i Jądrowego oraz władze lokalne wydały zezwolenie na budowę ostatecznego składowiska odpadów promieniotwórczych. Jest to składowisko płytkie, podziemne (granit), znajdujące się na głębokości 70 – 100 m pod powierzchnią terenu. Składa się z dwóch oddzielnych silosów przeznaczonych na odpady niskoaktywne i średnioaktywne. Silos dla odpadów średnioaktywnych jest dodatkowo wyposażony w wewnętrzny, wykonany ze zbrojonego betonu zbiornik. Silosy są połączone znajdującą się nad nimi halą o długości 65 m. Sufity i ściany hali oraz innych pomieszczeń (w tym także ściany silosu dla odpadów niskoaktywnych) zostały pokryte kilkucentymetrową warstwą betonu natryskowego (torkret). W hali znajdują się pomieszczenia do przyjmowania odpadów oraz urządzenia dźwiękowe. Do przykrycia silosów służą specjalne pokrywy wykonane z ciężkiego betonu, o grubości 25 cm dla silosu na odpady niskoaktywne i 50 cm dla silosu z odpadami średnioaktywnymi. W części napowierzchniowej znajduje się sterownia, pomieszczenia socjalne, urządzenia wentylacyjne, system zasilania elektrycznego. Duktury kablowe, rurociągi i windy poprowadzono w 60. metrowej długości szybie.

W składowisku stosuje się rutynowe metody ochrony radiologicznej. Większość prac eksploatacyjnych jest zdalnie sterowana.

Do składowiska prowadzą: tunel transportowy, tunel budowlany (schodzący do najniższego poziomu silosów) oraz szyb. Bębny z odpadami umieszczane są w betonowych pojemnikach mieszczących po 16 bębnow, a następnie,

z tymczasowego miejsca przechowywania specjalnym pojazdem transportowane są do silosów.

Prace górnicze rozpoczęto w kwietniu 1988 r. Całkowita objętość usuniętego materiału rodzimego wynosi 87 000 m³. Prace budowlane zajęły dwa lata (1990 – 1991), a częściowo równolegle prowadzone prace montażowe także zajęły dwa lata i zostały zakończone w połowie 1992 roku. W trakcie budowy została potwierdzona prawidłowość wyboru lokalizacji składowiska.

Największe zatrudnienie w czasie budowy wynosiło około 100 osób. Przewidywany koszt budowy wynosił 75 mln. marek fińskich. Składowisko jest przewidziane na około 8000 m³ odpadów pochodzących z eksploatacji dwóch bloków jądrowych. Możliwa jest rozbudowa składowiska o dalsze silosy, nawet wielokrotnie większe. Pozwala na to zarówno budowa geologiczna i hydrogeologiczna rejonu, w którym zlokalizowano składowisko, jak i konstrukcja samego składowiska. Dostępna objętość użytkowa silosów znacznie przekracza potrzeby wynikające z eksploatacji bloków energetycznych EJ Olkiluoto. Rezerwę stworzono ze względu na możliwość przedłużenia eksploatacji elektrowni oraz ze względu na założenie, iż składowisko powinno pomieścić odpady pochodzące z likwidacji bloków.

Planuje się, iż po zakończeniu eksploatacji składowiska, tunele i szyb zostaną szczelnie zamknięte i nie będzie konieczna żadna kontrola składowiska.

Wymagania dotyczące jakości i bezpieczeństwa stawiane podczas projektowania, budowy, a obecnie eksploatacji składowiska są podobne do tych, jakie stosowano w przypadku elektrowni jądrowych.

Składowisko dla odpadów średnio- i niskoaktywnych pochodzących z EJ Loviisa jest obecnie na etapie planowania. Przewiduje się, że składowisko będzie usytuowane na głębokości 120 m i będzie składało się z systemu poziomych tuneli i kawern. Początkowa pojemność powinna wynosić ok. 100 000 m³, a docelowa powinna uwzględniać konieczność składowania odpadów pochodzących z likwidacji elektrowni.

Odpady stałe są w obu elektrowniach traktowane podobnie. Odpady nieprasowalne są zamykane w bębnach. Elementy za duże do umieszczenia ich w bębnie są przechowywane oddzielnie. Pozostałe odpady są prasowane przy użyciu 20 tonowej prasy.

Spalanie odpadów eksploatacyjnych z elektrowni jądrowych nie jest w Finlandii stosowane. W EJ Loviisa rozważane jest użycie superkompaktora (prasy o dużym nacisku). W elektrowni tej została uruchomiona instalacja doświadczalna wykorzystująca do przetwarzania odpadów metodę degradacji mikrobiologicznej. Przewiduje się, że wkrótce metoda ta będzie stosowana rutynowo. Wypalone paliwo jądrowe z EJ Loviisa, zgodnie z umową z b. ZSRR, jest po czasowym schładzaniu w basenie przyreaktorowym wywożone koleją do Rosji.

Wypalone paliwo z EJ Olkiluoto jest przechowywane w wodnych przechowalnikach na terenie elektrowni. Rozpatruje się możliwość skorzystania z usług zagranicznych (przerób paliwa), ale jednocześnie opracowywane są koncepcje ostatecznego składowania tego paliwa w głębokich formacjach geologicznych. System składowania oparty jest na koncepcji szwedzkiej, która przewiduje umieszczenie wypalonego paliwa w szczelnych miedzianych pojemnikach, a następnie w pionowych otworach wywierconych w tunelach znajdujących się na głębokości 500 m. Planuje się, że składowisko pomieści 900 pojemników (każdy z ośmioma zestawami paliwowymi z BWR).

W pierwszej fazie poszukiwań lokalizacji wytypowano około 100 potencjalnie przydatnych rejonów, z których pięć wybrano do dalszych, bardziej szczegółowych badań.

Badania te przeprowadzono w latach 1987 – 1992. Ramowy harmonogram badań i budowy opracowany w 1983 r. przewidywał zrealizowanie następujących zadań w terminach:

1985 – wytypowanie wielu potencjalnie przydatnych rejonów i opracowanie koncepcji składowiska,

1992 – przeprowadzenie wstępnych badań w kilku rejonach i wytypowanie niektórych do badań bardziej szczegółowych oraz uaktualnienie koncepcji technicznych składowiska,

- 2000 – wybór konkretnej lokalizacji,
- 2010 – opracowanie dokumentacji technicznej i raportu bezpieczeństwa oraz wystąpienie z wnioskiem o zezwolenie na budowę,
- 2020 – wybudowanie i uruchomienie składowiska.

Niewielkie ilości odpadów pochodzących od drobnych użytkowników izotopów promieniotwórczych są przechowywane, pod kontrolą STUK, na wyspie Santahamia w Helsinkach.

5. INFORMACJE O PROWADZONYCH PRACACH BADAWCZYCH

W trakcie realizacji programu poszukiwania lokalizacji na składowisko wypalonego paliwa oraz lokalizacji na składowisko odpadów nisko- i średnioaktywnych z EJ Loviisa przeprowadzono szereg badań terenowych i laboratoryjnych, a następnie modelowanie komputerowe.

Finlandia uczestniczy od roku 1980 w szwedzkim programie Stripa oraz w wielu dwu- i wielostronnych programach badawczych związanych z technologiami unieszkodliwiania odpadów, systemami multibarier i opracowywaniem kryteriów jakie powinny spełniać składowiska odpadów promieniotwórczych.

W okresie lokalizowania i budowy składowiska w Olkiluoto wykorzystując ośrodki naukowe i uniwersytety przeprowadzono m. in. szczegółowe badania i testy opakowań odpadów, stosowanych betonów i materiałów wypełniających oraz własności odpadów.

FRANCJA

We Francji eksploatowanych jest 57 bloków jądrowych o łącznej mocy 59 033 MWe, dostarczających ok. 78% produkcji energii elektrycznej kraju.

1. STAN PRAWNY

Podstawowym aktem prawnym we Francji dotyczącym instalacji jądrowych jest **Dekret nr 63-1228 z 11 grudnia 1963 r.** Dekret ten, nowelizowany w marcu 1973 r. i w styczniu 1990, określa obowiązki spoczywające na wykorzy-

stującym (eksploatującym) urządzenia jądrowe, z których najważniejszym jest obowiązek bezpiecznej dla personelu i otoczenia budowy i eksploatacji urządzeń jądrowych oraz bezpiecznego wycofywania ich z eksploatacji. Dokumenty uzupełniono **Instrukcją i Decyzją z 27 marca 1973 r.** (Decyzja ta została uaktualniona w grudniu 1976 r.) wydanymi przez Ministra Przemysłu.

W grudniu 1966 r. wydane zostało rozporządzenie precyzujące, jakie urządzenia i instalacje z substancjami promieniotwórczymi nie podlegają działaniu dekretu nr 63-1228 z 11.12.1963 r., a w styczniu 1967 r. rozporządzenie określające instalacje przeznaczone do przechowywania, gromadzenia lub wykorzystywania substancji promieniotwórczych.

Zgodnie z przytoczonymi przepisami instalacje i urządzenia cyklu paliwowego oraz magazynowania, przerobu i składowania odpadów promieniotwórczych są zaliczane do podstawowych instalacji jądrowych co nakłada na właścicieli i eksploatujących te instalacje obowiązek uzyskania odpowiednich licencji od kompetentnych organów.

W Dekrecie z października 1967 r. urządzenia jądrowe zostały zaliczone do ważnych z punktu widzenia ochrony środowiska.

Na podstawie Dekretu 63-1228 zostały wydane przepisy niższego rzędu – Podstawowe Zasady Bezpieczeństwa (RFS) – określające wymagania dotyczące procesów lub instalacji i urządzeń. Sprawy związane z cyklem paliwowym i gospodarką odpadami promieniotwórczymi regulowane są następującymi przepisami:

- **RFS – I. 2** dotyczącymi bezpieczeństwa powierzchniowych składowisk odpadów promieniotwórczych stałych krótko- i średniożyciowych nisko- i średnioaktywnych,
- **RFS – III. 2a, b, c, d** określającymi podstawowe wymagania dotyczące wytwarzania, kontroli, przerobu i magazynowania odpadów promieniotwórczych,
- **RFS – III. 2e** określającymi warunki jakie muszą spełniać opakowania dla stałych (zestalonych) odpadów promieniotwórczych przeznaczonych do składowania powierzchniowego.

Ostatnim z aktów prawnych dotyczących odpadów jest Prawo o Odpadach Promieniotwórczych (akt w randze ustawy) z 30 grudnia 1991 r. określające wieloletni program działania w zakresie bezpiecznego przerobu i składowania tych odpadów. Ustawa ta stworzyła podstawy prawne i finansowe do rozpoczęcia kompleksowych prac w dziedzinie odpadów promieniotwórczych.

2. STRUKTURA ORGANIZACYJNA

Strukturę organizacyjną, w ramach której realizowana jest gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym rozpatruje się w dwóch płaszczyznach: z punktu widzenia zezwoleń (licencji) i kontroli oraz z punktu widzenia realizacji tej gospodarki.

Działalność dotycząca odpadów promieniotwórczych wymaga uzyskania zezwoleń. Z ramienia Rządu organem kompetentnym w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej jest Minister Przemysłu, którego organem wykonawczym, udzielającym zezwoleń i sprawującym funkcje kontrolne jest utworzona na podstawie Dekretu nr 73-278 z 13 marca 1973 r. Centralna Służba Bezpieczeństwa Instalacji Jądrowych przy Ministerstwie Przemysłu – SCSIN (Service central de sûreté des installations nucléaires) obecnie przemianowana na Dyrekcję ds. Bezpieczeństwa Instalacji Jądrowych – DSIN (Direction de la sûreté des installations nucléaires).

Niezależnie od własnych specjalistów DSIN współpracuje z Instytutem Ochrony i Bezpieczeństwa Jądrowego (IPSN) oraz ze stałymi grupami ekspertów, w tym grupą ekspertów w dziedzinie składowania odpadów promieniotwórczych a także ze Służbą ds. Ochrony Radiologicznej (SCPRI).

Na poziomie lokalnym DSIN działa poprzez wydziały ds. jądrowych Regionalnych Dyrekcji ds. Przemysłu, Badań i Środowiska (DRIRE)

W zakresie realizacji gospodarki odpadami promieniotwórczymi struktura organizacyjna jest we Francji prosta i klarowna (rys. 2).

Obowiązek bezpiecznego gromadzenia, unieszkodliwiania, magazynowania i transportu odpadów do składowiska centralnego spoczywa na właścicielu tych odpadów.

W 1979 r. została, w ramach Komisarjatu Energii Atomowej, utworzona Narodowa Agencja ds. Odpadów Promieniotwórczych – ANDRA (Agence Nationale pour Gestion des Déchets Radioactifs) finansowana przez głównych dostawców odpadów promieniotwórczych – Komisarjat Energii Atomowej, właściciela elektrowni jądrowych (EdF) i COGEMA organizację działającą na rynku paliwa jądrowego.

ANDRA jest odpowiedzialna za gospodarkę odpadami promieniotwórczymi począwszy od przygotowania i budowy składowiska, poprzez jego eksploatację do zabezpieczenia po zaprzestaniu użytkowania. Ponadto ANDRA jest odpowiedzialna za promocję stosowania rozwiązań technicznych przetwarzania i zestalania odpadów.

Prawo o Odpadach Promieniotwórczych nakłada na ANDRA obowiązek koordynowania długoterminowych prac badawczych w zakresie przerobu, unieszkodliwiania oraz składowania powierzchniowego i w głębokich formacjach geologicznych a także przygotowanie i prowadzenie centralnego rejestru odpadów promieniotwórczych znajdujących się na terytorium Francji.

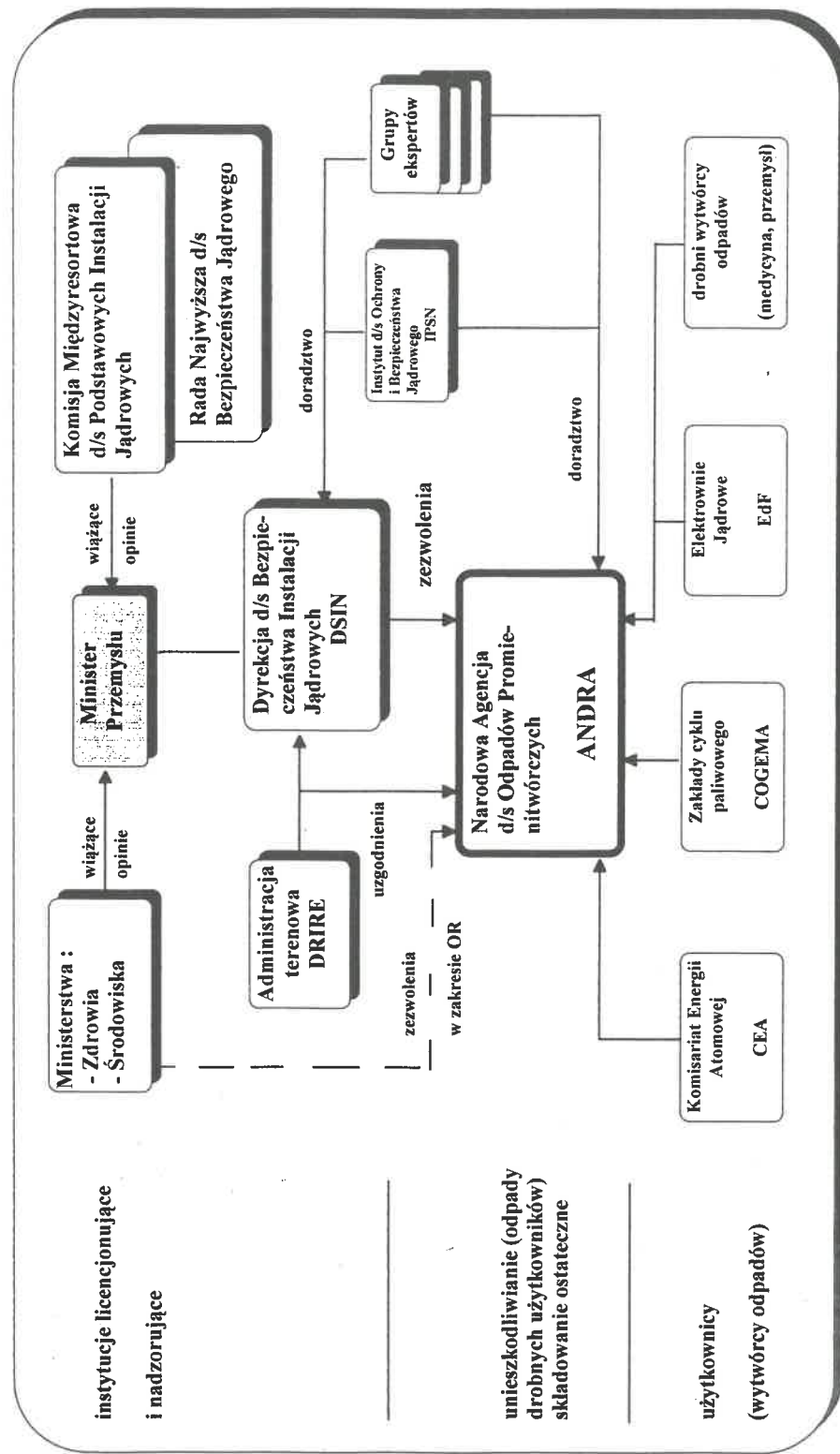
Znacznie prostsze niż w większości innych krajów jest również postępowanie z wypalonym paliwem z reaktorów jądrowych.

W tym zakresie Francja stosuje jednolitą politykę polegającą na tym, że po schłodzeniu na terenie elektrowni (lub instytutu w przypadku paliwa z reaktorów badawczych) paliwo jest przewożone do zakładów przerobu w La Hague. Odpady nisko- i średnioaktywne z procesu przerobu są przekazywane do składowisk powierzchniowych eksploatowanych przez ANDRA a wysokoaktywne do Ośrodka Badawczego w Marcoule, gdzie są zeszkliwane i następnie magazynowane do czasu uruchomienia składowiska ostatecznego.

3. KLASYFIKACJA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

We Francji odpady promieniotwórcze dzieli się na dwie grupy:

- „krótkożyciowe”, z okresem półrozpadu < 30 lat,
- „długożyciowe”, z okresem półrozpadu > 30 lat.



Rys. 2. Schemat postępowania z odpadami promieniotwórczymi we Francji

Uwzględniając powyższe grupy wyodrębnia się trzy kategorie odpadów:

- kategoria A – odpady „krótkożyciowe” nisko- i średnioaktywne.
- kategoria B – odpady „długożyciowe” nisko- i średnioaktywne zawierające większość emiterów alfa,
- kategoria C – odpady „długożyciowe” wysokoaktywne.

Dostarczycielami odpadów kategorii A są wszystkie grupy użytkowników.

Dostarczycielami odpadów kategorii B i C są zakłady przerobu wypalonego paliwa jądrowego. Udział pozostałych grup w tej kategorii odpadów jest pomijalny.

W przypadku drobnych użytkowników odbieraniem, unieszkodliwianiem i transportem odpadów na miejsce docelowego składowania zajmuje się ANDRA. Pozostałe grupy wytwórców odpadów promieniotwórczych rozwiązują te problemy we własnym zakresie postępując wg wymagań ANDRA.

4. INFORMACJE O EKSPLOATOWANYCH SKŁADOWISKACH ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Elektrownie jądrowe, zakłady produkcji i przerobu paliwa oraz ośrodki badawczo-naukowe Komisariatu Energii Atomowej posiadają własne magazyny odpadów promieniotwórczych o wielkości wystarczającej na ich potrzeby. Drobnymi użytkownikami źródeł promieniowania jonizującego (drobni wytwórcy odpadów) nie dysponują magazynami do długotrwałego przechowywania ponieważ ich potrzeby w tym zakresie pokrywa ANDRA.

Obecnie we Francji tylko odpady promieniotwórcze kategorii A podlegają składowaniu docelowemu, a odpady kategorii B i C są składowane w miejscu ich wytwarzania w oczekiwaniu na uruchomienie przeznaczonych dla nich składowiska docelowego.

Odpady promieniotwórcze kategorii A są składowane docelowo w składowiskach powierzchniowych. We Francji są dwa takie składowiska: La Manche i L'Aube.

Składowisko La Manche, w pobliżu zakładów przerobu wypalonego paliwa jądrowego La Ha-

gue w Normandii udostępnione zostało do eksploatacji w 1969 r. i zarządzane było przez Komisariat Energii Atomowej. Od 1979 r. składowisko przeszło pod zarządek ANDRA.

Składowisko w La Manche jest częściowo zagłębione w grunt. W rejonie składowiska pod warstwą glin zalegają margle kredowe. Ogólna powierzchnia zajęta pod składowanie odpadów wynosi 12 ha. W miarę upływu lat i gromadzenia doświadczeń stosowano w składowisku różne metody izolowania odpadów. Początkowo wykonywano wykopy ziemne, w których umieszczano beczki z odpadami, przykrywając je płachtami plastikowymi i zasypując gruntem wybranym z wykopów. W dalszym etapie umieszczano w wykopach skrzynie z prefabrykowanych płyt betonowych, lokując w nich pojemniki z odpadami. Po wypełnieniu skrzyń wolne przestrzenie pomiędzy pojemnikami zalewano betonem lub wypełniano materiałem o dobrych właściwościach sorpcyjnych. Od końca lat siedemdziesiątych zastosowano skrzynie betonowe monolityczne o pojemności 80 m³, a od 1981 r. skrzynie monolityczne z betonu zbrojonego o pojemności 55 i 180 m³. Do jesieni 1994 r. to jest do zakończenia eksploatacji zgromadzono w nim 500 000 m³ odpadów.

Obecnie w składowisku La Manche prowadzone są prace zabezpieczające, związane z zamknięciem składowiska. Zapełnione przyzmy, z wypełnionymi przestrzeniami pomiędzy pojemnikami pokrywa się z boków i z góry folią, a następnie grubą warstwą, odpowiednio dobranego, nieprzepuszczalnego gruntu. Strefa dolna składowiska jest wyposażona w obwodowy system drenażowy, który umożliwia stałą kontrolę szczelności składowiska. Wody systemu drenażowego spływają siecią rurociągów w podziemnych galeriach do centralnego zbiornika.

Składowisko powierzchniowe L'Aube zlokalizowane jest w okolicy Troyes w Szampanii. Przewiduje się przyjęcie na powierzchni 95 ha 1 000 000 m³ odpadów promieniotwórczych kategorii A. Składowisko zostało udostępnione do eksploatacji w styczniu 1992 r. Stosuje się w nim technologię zbliżoną do tej, której używano w ostatniej fazie eksploatacji składowiska w La Manche (dodatkowo zastosowano przesuwne zadaszanie nad aktualnym miejscem

składowania), jednak wyposażenie składowiska, system monitoringu i zabezpieczeń jest dużo nowocześniejszy. Składowisko dzieli się na część podziemną i nadziemną. W części zagłębianej pojemniki z odpadami są umieszczane w skrzyniach żelbetowych. W centralnych skrzyniach są umieszczane odpady o najwyższej aktywności. Zapelnione pojemnikami skrzynie z wypełnionymi betonem wolnymi przestrzeniami stanowią podstawę dla części naziemnej składowiska. Część ta składa się z szeregu warstw układanych w pryzmę z pojemników z odpadami o niskiej aktywności. Zabezpieczenie zewnętrzne pryzmy planuje się wykonać podobnie jak w La Manche. Pryzmy będą przykrywane folią, a następnie trzymetrową, izolującą warstwą iltu i zewnętrzną warstwą piasku ze żwirem. Na tak przygotowanym podłożu zostanie ułożona warstwa humusu i zieleni.

Odpady promieniotwórcze kategorii B i C są magazynowane w miejscu ich wytwarzania w ośrodku Marcoule i La Hague. W postaci ciekłej w roztworach kwasowych są magazynowane w zbiornikach ze stali nierdzewnej. Stopniowo są one zestalane w szkliwie borasilikowym i w takiej postaci umieszczane w magazynie i chłodzone powietrzem.

Instalacje w Marcoule i w La Hague mogą przerobić po około 800 t odpadów rocznie.

Planuje się, że odpady kategorii B i C będą ostatecznie składowane w głębokich formacjach geologicznych w skałach krystalicznych lub w pokładach soli w rejonach Vienne, Meuse, Haute Marne i Gard.

5. INFORMACJE O PROWADZONYCH PRACACH BADAWCZYCH

Prace badawcze w zakresie unieszkodliwiania i składowania odpadów promieniotwórczych są na mocy Prawa o Odpadach z 30.12.1991 r. koordynowane przez ANDRA. Powyższe Prawo określa również strategiczne kierunki prac naukowo-badawczych oraz zapewnia na nie odpowiednie środki finansowe. Kierunki te to przede wszystkim:

- separacja ciśnieniowa i przemiana izotopów promieniotwórczych długożyciowych w izotopy o krótszym okresie półroczu,

- badania w dziedzinie składowania odpadów promieniotwórczych w formacjach geologicznych,
- prace nad technologiami unieszkodliwiania oraz docelowym składowaniem powierzchniowym odpadów.

W ramach badań nad unieszkodliwianiem i składowaniem odpadów kontynuuje się prace nad zestalaniem i spalaniem odpadów wszystkich kategorii (w tym odpadów alfa-promieniotwórczych).

W celu prowadzenia prac badawczych nad składowaniem odpadów w formacjach geologicznych utworzono dwa podziemne laboratoria, w których bada się charakterystyki złóż i procesy w nich przebiegające. Prace te są bardzo zaawansowane. Zakłada się, że wyniki otrzymane w latach 1994 – 1996 pozwolą przeprowadzić w latach 1996 – 1997 procedurę uzgodnień administracyjnych zezwalających na budowę podziemnego składowiska, które mogłoby być oddane do eksploatacji około roku 2010.

HISZPANIA

W Hiszpanii eksploatuje się 10 bloków jądrowych (siedem z reaktorami wodnymi – ciśnieniowymi – PWR, jeden z reaktorem chłodzonym gazem – GCR, dwa z reaktorami wodnymi – wrzącymi – BWR) o łącznej mocy 7400 MWe, dostarczających 36,4 % produkcji energii elektrycznej kraju.

1. STAN PRAWNY

Ramy prawne dla postępowania z odpadami promieniotwórczymi w Hiszpanii ustalają akty prawne regulujące całokształt zagadnień związanych z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną w tym kraju. Są to: **Prawo Atomowe (25/1964) z 29 kwietnia 1964 r.** i **Dekret dotyczący instalacji jądrowych i radioaktywnych (dekret 2889/72) z 21 lipca 1972 r.** Akty te zostały zmodyfikowane **Ustawą 15/80 z 22 kwietnia 1980 r.**, powołującą Radę Bezpieczeństwa Jądrowego (Consejo de Seguridad Nuclear – CSN) jako agendę rządową będącą organem kompetentnym w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej (bj i or).

Utworzenie tej niezależnej instytucji, której podlega bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna, było decydującą zmianą ram prawnych w tej dziedzinie.

Powyższe akty prawne w sposób ostateczny ustaliły kwestie nadzoru i kontroli nad gospodarką odpadami promieniotwórczymi.

2. STRUKTURA ORGANIZACYJNA

Odpady promieniotwórcze powstają przede wszystkim w wyniku eksploatacji i likwidacji elektrowni jądrowych. Powstają one także w wyniku powszechnego stosowania źródeł promieniotwórczych w medycynie, nauce, rolnictwie i przemyśle. Obecnie ocenia się, że w Hiszpanii odpady wytworzone przez tych drobnych użytkowników (producentów) stanowią około 5% (objętościowo) łącznej ilości odpadów promieniotwórczych.

Dekret Królewski 1522/1984 z 1984 r. powołał państwową spółkę – ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos) – czyniącą ją odpowiedzialną za prowadzenie gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Hiszpanii. Udziałowcami w tej spółce są: Ośrodek Badań Technologicznych, Energetycznych i Środowiskowych (CIEMAT – poprzednio JEN) i Państwowy Instytut Przemysłu (INI), podległe Ministerstwu Przemysłu i Energetyki.

Organizację i podział odpowiedzialności w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Hiszpanii przedstawiono na rys. 3.

ENRESA jest spółką zarządzającą i jej rola polega na określaniu i nadzorowaniu zadań uznanych za niezbędne dla bezpiecznego realizowania gospodarki odpadami promieniotwórczymi. Zadania te realizowane są przez inne organizacje i instytucje, głównie budowlane i inżynierskie.

ENRESA ma obowiązek przygotowywać raz w roku Ogólny Plan Gospodarki Odpadami Promieniotwórczymi, przedkładać go do zatwierdzenia Ministrowi Przemysłu i Energetyki, a następnie wdrażać. Plan ten jest podstawowym dokumentem wytyczającym strategię i kierunki działania dla osiągnięcia celów w różnych zakresach odpowiedzialności ENRESA. Plan zawiera podstawowe dane odnośnie produkcji od-

padów i jej prognoz, informacje dotyczące aspektów ekonomicznych i finansowych, jak również zagadnienia techniczne, które muszą zostać rozwiązane.

Podstawowymi dziedzinami za które odpowiedzialna jest ENRESA są:

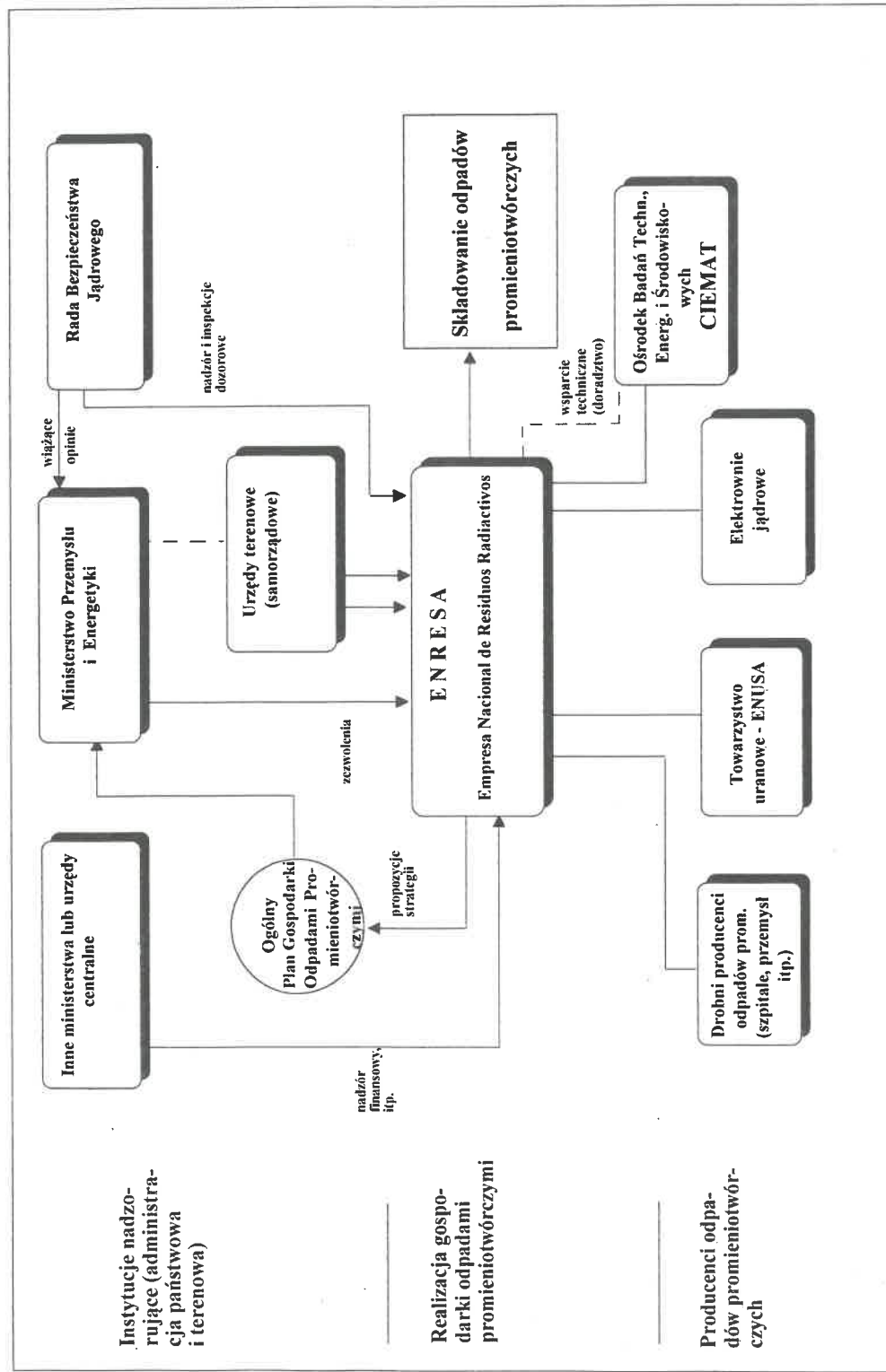
- a) przerób i zestalanie odpadów,
- b) lokalizowanie, projektowanie, eksploatacja oraz długookresowy nadzór nad centralnymi składowiskami (tymczasowymi i ostatecznymi) odpadów promieniotwórczych,
- c) organizowanie systemów zbierania, przekazywania i transportu odpadów promieniotwórczych,
- d) nadzorowanie prac związanych z likwidacją instalacji jądrowych,
- e) unieszkodliwianie odpadów powstających przy wydobyciu i wzbogacaniu rud uranowych,
- f) wszechstronne analizy umożliwiające ustalenie właściwej polityki finansowej,
- g) wspomaganie właściwych służb w przypadku awarii jądrowych,
- h) informowanie społeczeństwa.

Koszty działalności ENRESA pokrywane są przez producentów odpadów promieniotwórczych. Rozliczenia z sektorem energetycznym uwzględniają fakt konieczności ponoszenia kosztów również po wycofaniu elektrowni z eksploatacji. Drobni użytkownicy (producenti) płacą za wytwarzane przez nich odpady, zgodnie z ustalonymi taryfami, w momencie ich odbioru.

Podstawą dla tych opłat jest Dekret Królewski 1522/1984.

W 1988 r. okazało się, że Dekret ten pozostawił jednak pewną lukę prawną. Stało się jasne, że realizacja przez ENRESA zadań wymienionych w punkcie „b” będzie miała pewien wpływ na życie zarówno osób prywatnych, jak i postępowanie władz lokalnych, na terenie których lub w pobliżu tych terenów będą zlokalizowane składowiska odpadów promieniotwórczych, a nie przewidziano dla nich żadnych rekompensat z tego tytułu.

Dlatego też w grudniu 1988 r. Minister Przemysłu i Energetyki wydał zarządzenie upoważniające ENRESA do wypłacania co rok określonych sum władzom gmin, na terenie których zlokalizowane są składowiska oraz władzom sąsiadującym.



Rys. 3. Organizacja i podział odpowiedzialności w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Hiszpanii

W zarządzeniu tym podane są zasady wyliczenia wysokości tych opłat. Zależą one od kategorii składowiska oraz jego odległości od danej gminy. Określono następujące kategorie składowisk:

- centralne składowiska dla czasowego przechowywania paliwa wypalonego,
- centralne składowiska dla średnio- i niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych,

W grudniu 1989 r. Minister Przemysłu i Energetyki wydał Zarządzenie uzupełniające, które rozszerza i precyzuje warunki uzyskiwania rekompensat przez gminy na terenie których (lub w ich sąsiedztwie) znajdują się czynne elektrownie jądrowe posiadające tymczasowe przechowalniki wypalonego paliwa jądrowego.

Podsumowując, zgodnie z obowiązującym w Hiszpanii prawem, Minister Przemysłu odpowiedzialny jest za wydawanie przepisów, jak również licencji w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi.

Rada Bezpieczeństwa Jądrowego (CSN) zobowiązana jest do wydawania wiążących opinii w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

Wnioski o wydanie licencji są kierowane do odpowiedniego terenowego oddziału Ministerstwa Przemysłu i Energetyki.

Dyrektor tego oddziału potwierdza kompletność wniosku i przesyła kopie do centrali Ministerstwa oraz Rady Bezpieczeństwa Jądrowego. CSN po otrzymaniu wniosku z kompletną dokumentacją bezpieczeństwa, dokonuje niezależnej analizy i oceny tej dokumentacji oraz przygotowuje raport (wiązącą opinię) dla Ministerstwa.

Na tym etapie niezbędne również mogą być konsultacje z innymi resortami lub instytucjami, niemniej ostateczna decyzja o wydaniu zezwolenia należy do Ministra Przemysłu i Energetyki.

W czasie następných etapów CSN przeprowadza również inspekcje w zakresie b i or.

Instytucją odpowiedzialną za działalność badawczo-rozwojową w dziedzinie gospodarki odpadami promieniotwórczymi i udzielanie wsparcia technicznego ENRESA i Ministerstwu Przemysłu i Energetyki jest CIEMAT.

3. KLASYFIKACJA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Sposób postępowania z odpadami promieniotwórczymi oraz ich ostatecznego składowania zależą od postaci tych odpadów, rodzaju emitowanego promieniowania, okresu półrozpadu oraz zawartej w tych odpadach aktywności. Obecnie w Hiszpanii przyjęta jest następująca klasyfikacja odpadów promieniotwórczych:

- **odpady wysokoaktywne**, charakteryzujące się:
 - wysoką aktywnością właściwą krótkożyłymi emiterów,
 - znaczną koncentracją emiterów długożyłymi,
 - znaczną generacją ciepła.

Pochodzą one z zakładów przerobu wypalonego paliwa z elektrowni jądrowych.

- **odpady średnio- i niskoaktywne**, charakteryzujące się:
 - niską aktywnością właściwą,
 - zawartością krótkożyłymi emiterów beta i gamma (o okresach półrozpadu poniżej 30 lat),
 - ograniczoną zawartością długożyłymi emiterów alfa.

Odpady niskoaktywne pochodzą z elektrowni jądrowych, innych instalacji jądrowych, ośrodków badawczych, szpitali oraz zakładów przemysłowych stosujących źródła promieniotwórcze lub materiały radioaktywne. Przeważnie składają się na nie ręczniki papierowe, zużyte strzykawki, gumowe rękawiczki, buty ochronne, wkłady filtrów powietrza itp. Odpady średnioaktywne pochodzą z elektrowni jądrowych, zakładów przerobu paliwa wypalonego oraz medycznych, przemysłowych i badawczych zastosowań izotopów promieniotwórczych. Składają się na nie zazwyczaj ścinki metalowe, szlasy, żywice i zużyte źródła promieniotwórcze.

Z odpadami alfa-promieniotwórczymi postępuje się w zasadzie w ten sam sposób jak z innymi nisko- i średnioaktywnymi odpadami, niemniej podejmowane są dodatkowe środki dla odizolowania ich od środowiska. Odpady te pochodzą z niektórych laboratoriów badań jądrowych, zakładów produkcji paliwa jądrowego i z zakładów przerobu paliwa wypalonego.

- odpady powstające przy wydobyciu i wzbogacaniu rud uranowych – charakteryzują się one:

- bardzo niską aktywnością właściwą,
- zawartością izotopów naturalnych,
- bardzo dużymi objętościami do zagospodarowania.

4. INFORMACJE O EKSPLOATOWANYCH SKŁADOWISKACH ODPADÓW

Powstające na terenie Hiszpanii nisko- i średnioaktywne odpady promieniotwórcze składowane są w należącym do ENRESA centralnym składowisku w miejscowości El Cabril, w górach Sierra Albarrana w Cordobie. Odpady od drobnych producentów, przygotowane przez CIEMAT, przechowywane są tam (tymczasowo) od 1982 r., a pochodzące z elektrowni jądrowych, przygotowane do składowania w miejscu powstania – od 1988 r. Odpady przechowywane są w halach typu przemysłowego, mają one powierzchnię 1800 m² każda i mogą pomieścić 5000 bębnow o pojemności 220 litrów. Usytuowane na ogrodzonym terenie, wyposażone są w systemy kontroli radiologicznej (monitoringu), jak również w systemy drenażu i kontroli ścieków. Pobliskie, opuszczone miasteczko górnicze zostało przebudowane i mieszczą się w nim obecnie laboratoria, biura, placówka medyczna i placówka straży pożarnej.

W grudniu 1989 r., po otrzymaniu od Ministra Przemysłu i Energetyki zezwolenia na budowę potwierdzonego licencją władz lokalnych, ENRESA rozpoczęła prace nad budową centralnego składowiska ostatecznego odpadów w El Cabril. W październiku 1992 r. ENRESA uzyskała zezwolenie na eksploatację tego składowiska. Pierwsza dostawa odpadów promieniotwórczych miała miejsce 19 listopada 1992 r. Jest to składowisko typu powierzchniowego, bębny z odpadami są umieszczane wewnątrz betonowych kontenerów tworzących 24. tonowe bloki betonowe. Kontenery umieszczane są w prostopadłościennych segmentach mieszczących 320 kontenerów. Po wypełnieniu tych segmentów będą one przykrywane dodatkową warstwą uszczelniającą. W doku-

mentacji bezpieczeństwa opracowanej w fazie lokalizacji i budowy wykazano, że ten układ barier zabezpiecza odpady przed dostaniem się do nich wody w normalnych warunkach i ogranicza do bardzo niskich poziomów ilości materiałów radioaktywnych, które mogłyby wy dostać się z wodą podczas potencjalnych awarii, tak że ich radiologiczne konsekwencje byłyby pomijalnie małe. Łączna pojemność składowiska w El Cabril wynosi 35 000 m³ zestalonych odpadów zawierających krótkożyłowe radionuklidy oraz bardzo ograniczoną zawartość emiterów alfa (do 0.1 Ci/tonę). Składowisko wyposażone jest w instalację do zestalania odpadów, laboratorium pomiarowe do testowania bębnow, pracownie badawcze oraz szereg budynków pomocniczych.

5. INFORMACJE O PROWADZONYCH PRACACH BADAWCZYCH

Koordinacją wszystkich prac badawczych zajmuje się ENRESA. Prace realizowane są przez małe grupy specjalistów na uczelniach i w instytutach naukowych (przeszło 300 osób). Ze względu na brak pewnych urządzeń i laboratoriów niektóre zespoły pracują za granicą (Niemcy, Francja). Współpraca międzynarodowa odgrywa znaczną rolę w całym planie.

Poniżej podane zostały główne kierunki badań, ich hiszpańscy i zagraniczni wykonawcy oraz przewidziane środki finansowe na okres 1990 – 1994.

- Badania nad odpadami i ich zestalaniem (653 mln. pts),
niskoaktywne: Hiszpańska Rada ds. Badań Naukowych (CIC), CIEMAT i Politechnika w Seville (ETSII),
wysokoaktywne: CIEMAT, Politechnika w Barcelonie i Instytut w Karlsruhe w Niemczech.
- Wybór lokalizacji i badania lokalizacyjne (3 756 mln. pts),
CIEMAT, ITGE, CEDEX, Akademia Górnicza w Madrycie i Uniwersytet w Barcelonie, CEA (Francja), ISMES (Włochy), USGS (USA), AECL (Kanada)
- Badania nad systemami barier sztucznych (850 mln. pts),

- CIEMAT, INASMET, Uniwersytet Autonomiczny w Madrycie, CSCI, EEC, CEA (Francja).
- Modelowanie komputerowe (698 mln. pts),
CIEMAT, Akademia Górnicza w Madrycie, Wydział Inżynierii Drogowej Uniwersytetu w Barcelonie, Uniwersytet w Walencji, Politechnika w Madrycie, ISPRA (EEC), PSAC (NEA/OECD).
- Ochrona radiologiczna i ochrona środowiska (542 mln. pts),
CIEMAT oraz Uniwersytety w Cordobie i Seville.

- ITGE – Hiszpański Instytut Geologiczno-Górnicy
- CEDEX – Ośrodek Badawczy przy Ministerstwie Robót Publicznych i Transportu
- CEA – Komisariat Energii Atomowej
- ISMES – Instytut Badań modelowych
- AECL – Kanadyjskie Towarzystwo ds. Energii Atomowej
- INASMET – Baskijskie Towarzystwo Metalurgiczne
- CSIC – Komitet Badań Naukowych
- EEC – Europejska Wspólnota Gospodarcza
- PRYMA – Instytut Ochrony Radiologicznej i Ochrony Środowiska
- ISPRA – Ośrodek Badawczy Wspólnoty Europejskiej
- PSAC – Grupa Użytkowników Kodu PSA

W przypadku wypalonego paliwa z reaktorów energetycznych obecnie nie rozważa się jego przerobu. ENRESA zaangażowana jest natomiast w szereg projektów związanych z problemem tymczasowego przechowywania tego paliwa. Rozważa się w nich zwiększenie pojemności basenów przechowawczych przez zmiany konstrukcyjne stojaków w niektórych elektrowniach, jak również wprowadzenie nowych pojemników metalowych. ENRESA uczestniczy w procesie projektowania i licencjonowania takich pojemników, odpowiednich zarówno do przechowywania, jak i transportu wypalonego paliwa. Rozważana jest też możliwość budowy centralnego składowiska, przeznaczonego do tymczasowego przechowywania wypalonego paliwa z różnych elektrowni.

Wyjątek stanowi wypalone paliwo z chłodzonego gazem reaktora Vadellos 1, które z uwagi

na jego specyfikę wysyłane jest do przerobu za granicę.

Strategia ostatecznego składowania odpadów wysokoaktywnych została zatwierdzona w 1987 r. Zdecydowano się na głęboką formację geologiczną. Rozważane są formacje granitowe, solne i ilaste. Prowadzone są badania nad wyborem miejsca lokalizacji. Przewiduje się, że do roku 2000 wstępnie wybranych zostanie i przebadanych kilka potencjalnych lokalizacji, co umożliwi ostateczny jej wybór, a uruchomienie składowiska w drugiej dekadzie przyszłego wieku.

W ramach prac nad ostatecznym składowaniem odpadów wysokoaktywnych w głębokich formacjach geologicznych opracowano ostatnio dwa projekty koncepcyjne dla takich składowisk usytuowanych w skale granitowej oraz pokładach soli. Nie są one związane z żadną konkretną lokalizacją. Koncepcja składowiska zlokalizowanego w ilach znajduje się w początkowej fazie opracowania.

W przypadku składowiska w pokładach solnych przewiduje się umieszczenie odpadów (wysokoaktywnych) zamkniętych w pojemnikach osłonowych w chodnikach wydrążonych na głębokości 850 m. Docelowo składowanych mogłoby być 20 000 zestawów paliwowych i 50 pojemników zeszkliwionych odpadów.

W koncepcji składowiska w granicie przewiduje się umieszczenie odpadów w pojemnikach ze stali węglowej otoczonych 70 cm warstwą puchnącej gliny smektytowej i umieszczonych w chodnikach wydrążonych na głębokości 500 m.

Wymagania co do wielkości niezbędnego dla składowiska terenu na powierzchni, jak i pod powierzchnią w obu rozwiązaniach są podobne i wynoszą odpowiednio 320 000 m² i 1,2 km².

III. PODSUMOWANIE

1. Z przedstawionych przykładów rozwiązań organizacyjnych postępowania z odpadami promieniotwórczymi, jak również z ogólnie dostępnych informacji dotyczących takich rozwiązań w innych krajach europejskich wynika, że zagadnienia związane z odpadami promieniotwórczymi, przede wszystkim budowa i eksploatacja składowisk, koordynacja badań powierzane są specjalistycznym firmom (agencjom) finanso-

wanym przez organizacje będące dostawcami tych odpadów. W Hiszpanii taką wyspecjalizowaną firmą jest ENRESA, we Francji ANDRA, w Wielkiej Brytanii NIREX, w Holandii COVRA, w RFN firma DBE, w Belgii ONDRAF/NIRAS.

2. W większości krajów europejskich prowadzone są prace lokalizacyjne dotyczące zarówno składowisk powierzchniowych, jak i głębokich.

Odpady wysokoaktywne i długożyciowe planuje się składować w głębokich formacjach geologicznych, jednakże w żadnym kraju składowiska takie nie są jeszcze eksploatowane.

3. Prace lokalizacyjne związane ze składowiskami powierzchniowymi i głębokimi są bardzo czasochłonne.

4. Prace badawcze i lokalizacyjne prowadzone przez poszczególne kraje europejskie indywidualnie, jak również w ramach programów międzynarodowych nie odbiegają tematyką od prac proponowanych do podjęcia w Polsce w ramach Strategicznego Programu Rządowego. Z oczywistych względów (brak energetyki jądrowej) zakres, jak i tempo prac prowadzonych w Polsce będą dużo mniejsze.

5. Plany przystąpienia Polski do Unii Europejskiej zmuszają do dostosowania, także w zakresie gospodarki odpadami promieniotwórczymi, naszych rozwiązań prawnych i organizacyjnych do tych jakie obowiązują w krajach Unii.

6. Akceptowalna społecznie wizja energetyki jądrowej w naszym kraju musi być wariantem kompletnym – bez niedomówień w kwestii odpadów promieniotwórczych.

Szczególne wyczulenie społeczeństwa polskiego w tym aspekcie, a stąd dające się łatwo przewidzieć trudności nakazują konieczność poszukiwania różnych rozwiązań technicznych.

7. Zadania przewidziane w SPR wymagają szybkiego podjęcia konkretnych działań zmierzających do rozwiązania problemów zarówno z obecnymi jak i z przyszłymi odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym.

Notka o autorze

Janusz Włodarski – mgr inż. energetyki jądrowej, doradca Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki ds. odpadów promieniotwórczych

Konieczność realizacji tych zadań wynika ze względów bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, jak również, ochrony środowiska i zabezpieczenia interesów społecznych.

Materiały źródłowe

1. Strategiczny Program Rządowy „Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym w Polsce”, PAA, luty 1995 r.

2. Opis gospodarki odpadami promieniotwórczymi w Finlandii, Francji i Hiszpanii został opracowany na podstawie materiałów przygotowanych na zamówienie i finansowanych przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne SA., grudzień, 1994 r.

3. OECD/NEA – Licensing Systems and Inspection of Nuclear Installations, Paris 1991

4. OECD/NEA – Nuclear Waste Management, Finland

5. Communication From the Commission on the present situation and prospects for radioactive waste management in the European Community

6. Commission of the European Communities – Managing Radioactive Waste in European Community

7. Final repository for operating waste at Olkiluoto

8. UNIPEDA – Radioactive Waste Management in Western Europe: A Review

9. OECD/NEA – Nuclear Waste Management, France

10. Materiał informacyjny przygotowany przez konsorcjum Cassiopee – 1993

11. Alain Barthoux, Yves Marque – Radioactive Waste Management – ANDRA, Conference in Geneva, April 1987

12. Biuletyny nr 7, 8, 9 OECD/NAE – Update on Waste Management Policies and Programmes

13. OECD/NEA – nuclear waste management, Spain

Notatki