

DOŚWIADCZENIA Z 50 LAT UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W POLSCE

Krzysztof Madaj

Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych, Otwock-Świerk

1. WPROWADZENIE

Praktycznie każdej działalności związanej z produkcją bądź stosowaniem izotopów promieniotwórczych towarzyszy powstawanie odpadów promieniotwórczych. Za właściwe postępowanie z odpadami promieniotwórczymi na terenie jednostki organizacyjnej, gdzie one powstały, a więc okresowe przechowywanie, ewidencjonowanie i unieszkodliwianie odpadów odpowiada kierownik tej jednostki. Jedyną instytucją w Polsce posiadającą zezwolenie na unieszkodliwianie i składowanie odpadów promieniotwórczych jest przedsiębiorstwo państwowe użyteczności publicznej Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP), który odpowiada za prawidłowe postępowanie z odpadami promieniotwórczymi od chwili ich przejęcia od wytwórcy. Należy jednak podkreślić, że warunkiem koniecznym do prowadzenia prawidłowej gospodarki odpadami promieniotwórczymi jest właściwe postępowanie już na etapie ich powstawania, a więc u prowadzącego prace z wykorzystaniem substancji promieniotwórczych. Podstawowe wymagania, jakie należałoby tu wymienić, to:

- minimalizacja ilości powstających odpadów,
- właściwa segregacja,
- zasada 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),
- odpowiednie zabezpieczenie i magazynowanie z uwzględnieniem minimalizacji narażenia personelu i wpływu na środowisko naturalne,
- właściwa dokumentacja na etapie powstawania odpadów radioaktywnych i przekazywania ich do unieszkodliwienia.

2. ŹRÓDŁA I RODZAJE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH ODBIERANYCH PRZEZ ZUOP DO UNIESZKODLIWIANIA

ZUOP odbiera stałe i ciekłe odpady promieniotwórcze nisko- i średnioaktywne, zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze oraz wycofane z eksploatacji czujki dymu.

Głównym źródłem ciekłych odpadów niskoaktywnych jest reaktor MARIA, skąd pochodzi ok. 90% wszystkich ścieków. Ciekłe odpady średnioaktywne powstają przy produkcji źródeł promieniotwórczych i w niektórych przypadkach podczas dekontaminacji skażonych powierzchni.

Znacząca ilość stałych odpadów promieniotwórczych ok. 40% powstaje w Ośrodku Świerk tj. z reaktora Maria oraz z zakładu produkcji izotopów promieniotwórczych tj. Instytutu Energii Atomowej POLATOM Ośrodek Radioizotopów. Odpadami promieniotwórczymi pochodzenia

reaktorowego są m.in. filtry (z układów oczyszczania chłodziwa i wentylacji) odpady podekontaminacyjne, zużyte elementy aparatów i urządzeń reaktorowych. Do odpadów z produkcji izotopów należą:

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

Pozostałe 60% pochodzi ze szpitali, klinik i innych instytucji wykorzystujących techniki izotopowe, znajdujących się na terenie całego kraju. 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.

Zamknięte, zużyte źródła promieniotwórcze i czujki dymu odbierane są głównie z instytucji spoza Ośrodka Świerk. Dostawcami czujek dymu są zazwyczaj firmy instalujące nowe urządzenia alarmowe, które również demontują stare instalacje alarmowe, odbierają wycofane czujki od innych instytucji i magazynują je do czasu przekazania ZUOP.

W tabeli 1 przedstawiono bilans odpadów odebranych do unieszkodliwiania w latach 2000-2008. 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, a także spadkiem zainteresowania stosowaniem izotopów promieniotwórczych.

Tabela 1. Bilans odpadów odebranych do unieszkodliwiania w latach 2000-2008

Wyszczególnienie	2000		2001		2002		2003		2004		2005		2006		2007		2008	
	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe	stałe	ciekłe
Źródła odpadów promieniotwórczych																		
Reaktor MARIA (m ³)	16,55	265,00	14,60	110,00	8,00	95,00	6,00	30,00	6,00	98,21	5,030	21,00	12,92	152,09	5,50	84,00	6,76	29,00
Reaktor EWA (m ³)	4,65	-	1,20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OR POLATOM IEA (m ³)	11,85	0,41	10,75	0,34	7,200	0,26	7,80	0,23	8,03	0,13	8,60	0,02	7,75	0,03	6,20	0,02	-	0,05
ZUOP (m ³)	5,89	8,50	76,95	8,00	3,10	4,00	18,95	8,00	7,06	-	2,56	4,00	0,33	0,00	1,51	0	3,35	6,00
Instytucje spoza Ośrodka Świerk (medycyna, przemysł, nauka) (m ³)	45,83	1,30	41,98	1,39	29,73	1,59	26,79	1,45	31,39	2,88	26,13	1,66	21,17	0,96	17,27	0,48	12,68	2,59
Ogółem	84,76	275,20	145,48	119,73	48,03	100,85	59,54	39,68	52,48	101,22	42,32	26,68	42,17	153,08	30,48	84,50	22,79	37,64
Kategorie odpadów promieniotwórczych																		
niskoaktywne (m ³)	63,22	274,81	128,14	119,40	39,77	100,64	47,62	39,66	40,17	28,19	31,26	26,68	41,57	153,08	29,92	84,48	22,38	37,63
średnioaktywne (m ³)	-	0,40	-	0,33	-	0,21	1,88	0,02	1,35	73,03	0,65	-	0,60	0,02	0,60	0,02	0,40	0,01
alfa-promieniotwórcze (m ³)	3,74	-	1,66	-	5,07	-	2,16	-	0,79	-	1,90	-	2,46	-	0,45	-	0,08	-
czujki dymu (szt.)	24	367	20	490	10	148	9	995	12	211	14	101	19	394	16	425	25	053
źródła zamknięte (szt.)	898	-	875	-	1235	-	1195	-	619	-	825	-	1397	-	1508	-	2675	-
Odpady przekazane do składowania w KSOP-Różan																		
objętość (m ³)	44,87	-	137,16	-	40,72	-	40,99	-	33,03	-	36,30	-	67,95	-	48,88	-	73,41	-
aktywność (rozpad na 31.12 w danym roku) (TBq)	1,40	-	1,57	-	2,41	-	1,24	-	0,52	-	1,87	-	1,74	-	1,37	-	1,26	-

3. UNIESZKODLIWIANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W POLSCE

Problem unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych powstał w Polsce w 1958 roku, z chwilą uruchomienia w Instytucie Badań Jądrowych (IBJ) w Świerku pierwszego badawczego reaktora jądrowego EWA. Znaczący rozwój technik izotopowych i związany z tym wzrost zastosowań izotopów promieniotwórczych w różnych dziedzinach gospodarki kraju, jaki nastąpił z początkiem lat 60-tych spowodował pilną konieczność rozwiązania problemu unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych. Z powodu braku odpowiednich przepisów dotyczących postępowania z odpadami promieniotwórczymi powstał problem nagromadzania tych odpadów u użytkowników substancji promieniotwórczych. Zachodziła obawa, że odpady ciekłe mogą być usuwane w sposób niekontrolowany (kanalizacja komunalna, akwenty wodne). Powstał, wymagający pilnego rozwiązania, problem ujęcia w precyzyjne normy gospodarki odpadami promieniotwórczymi. Skutecznym rozwiązaniem tego problemu była decyzja o lokalizacji składowiska w Róźnie i jego uruchomieniu w roku 1961. 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.

Rozpoczęcie eksploatacji Centralnej Składnicy Odpadów Promieniotwórczych (CSOP) w Róźnie 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 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. 1 stycznia 2002 roku ZDUOP IEA przekształcony został w przedsiębiorstwo państwowe użyteczności publicznej - Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP) nadzorowane przez Ministra Gospodarki, a następnie począwszy od 2006 roku przez Ministra Skarbu Państwa.

3.1. Podstawowe zasady postępowania z odpadami promieniotwórczymi

Z uwagi na szczególny charakter odpady promieniotwórcze wymagają specjalnego postępowania. Dotyczy to gromadzenia, przetwarzania, zestalania, transportu, okresowego przechowywania i ostatecznego składowania. 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. 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.

Isolacja 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 stwarzałyby zagrożenie dla ludzi. Bariery ochronne są fizycznymi przeszkodami mającymi uniemożliwić uwalnianie i rozprzestrzenianie się substancji promieniotwórczych.

W celu właściwego zabezpieczenia i składowania odpadów promieniotwórczych należy spełnić podstawowe wymagania:

- w możliwie maksymalnym stopniu zredukować ich objętość,
- nadać im formę odporną na działanie wody i rozpraszanie się,
- przechowywać w sposób nie zagrażający środowisku.

Dla spełnienia tych warunków stosuje się nie jedną, lecz najczęściej wiele barier zabezpieczających, tzw. system multibarier.

Na system multibarier zapobiegających rozprzestrzenianiu się substancji promieniotwórczych oraz pochłaniających promieniowanie składają się bariery sztuczne, tj. wykonane przez człowieka:

- tworzenie trudnorozpuszczalnych związków chemicznych (koncentratów) wiążących odpady promieniotwórcze;
- materiały wiążące (spoiwa), które służą do zestalania odpadów promieniotwórczych, w celu przeciwdziałania rozsypaniu, rozproszaniu, rozpyleniu i wymywaniu substancji promieniotwórczych. Najczęściej stosowanymi materiałami wiążącymi są beton, asfalt, polimery organiczne i masy ceramiczne;
- opakowanie bezpośrednie odpadów promieniotwórczych, które izoluje odpady od otoczenia, zabezpiecza przed uszkodzeniami mechanicznymi, działaniem czynników atmosferycznych i kontaktem z wodą. Na opakowania bezpośrednie stosowane są najczęściej pojemniki metalowe, rzadziej betonowe. W pojemnikach tych odpady są przewożone, magazynowane i składowane;
- betonowa konstrukcja składowiska, która stanowi dodatkowe zabezpieczenie odpadów, szczególnie przed działaniem czynników atmosferycznych, zapobiega korozji opakowań bezpośrednich, a przez to migracji substancji promieniotwórczych z miejsca ich składowania;
- impregnująca warstwa bitumiczna pokrywająca wierzchnią warstwę betonu, której podstawowym zadaniem jest zapobieganie przenikaniu wód opadowych do strefy składowania odpadów, a także uniemożliwianie korozji opakowań i wymywanie substancji promieniotwórczych;

oraz bariery naturalne, to głównie struktura geologiczna i ukształtowanie terenu, a także jego asejsmiczność i korzystne usytuowanie w miejscu tzw. wyniosłości topograficznej. Odpowiednie warunki geologiczne i hydrogeologiczne mają zapobiegać rozprzestrzenianiu się radionuklidów w glebie i przenikaniu ich do wód gruntowych i powierzchniowych. W przypadku KSOP poziom wód gruntowych jest niższy od poziomu składowiska, a struktura podłoża przeciwdziała migracji radionuklidów.

Wielostopniowość systemu barier to zasadniczy warunek ich skuteczności przed rozsypaniem, rozproszaniem, rozpyleniem i wymywaniem substancji promieniotwórczych, a co za tym idzie, niedopuszczeniem do ich migracji w składowisku i jego otoczeniu. W odniesieniu do KSOP skuteczność ta jest potwierdzona wieloletnimi już wynikami kontroli, mającymi na celu dokumentowanie jego wpływu na środowisko naturalne.

Przygotowanie odpadów do składowania poprzedzone jest z reguły redukcją ich objętości. Ułatwia to dalsze operacje z odpadami oraz ogranicza ich ilości przeznaczone do okresowego przechowywania, 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 skuteczne zabezpieczenie.

3.2. Metody unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych

Podstawowym wyposażeniem powstałej w 1961 roku Centrali Odpadów Promieniotwórczych w początkowym okresie jej działalności były następujące instalacje:

- do zateżniania ciekłych odpadów promieniotwórczych (wyparka typu kotłowego wydajność 200l/h w przeliczeniu na destylat, współczynnik dekontaminacji $\sim 10^5$ (sto tysięcy razy),
- do oczyszczania ciekłych odpadów promieniotwórczych niskoaktywnych metodą współstrącania, której głównym celem było zateżnienie zawartych w nich nuklidów w niewielkich objętościach szlamu, a następnie wydzielenie go z odpadów. Metoda polegała na strącaniu radionuklidów z fosforanem wapnia i wodorotlenkiem żelaza oraz żelazocyjankiem miedzi. Stosując różne odczynniki w różnych ilościach oraz dobierając właściwe wartości pH można było usunąć z ciekłych odpadów z dobrą wydajnością (99%) szereg radionuklidów takich jak Cs-137, Sr-90, Y-90, Ce-141 i Ra-226,
- do zestalania szlamów i koncentratów powyparnych (cementowanie w hobokach¹ – wydajność 0,1 m³/h).

Ponadto zbudowano magazyn ścieków niskoaktywnych (zbiornik Reaktora Ewa R-II, poj. 300 m³) i magazyn ścieków średnioaktywnych tj. zbiorniki o pojemności 3* 30 m³ =90m³ oraz magazyn odpadów stałych.

W 1971 roku uruchomiono nową instalację do zestalania koncentratów promieniotwórczych w asfalcie, zamiast stosowanego uprzednio cementu. Szlamy mieszane były z asfaltem w temperaturze 220 - 250°C. W procesie asfaltowania ok. 99% wody znajdującej się w szlamach zostało odparowane. Produkty asfaltowania zawierające do 30 % wag. suchych soli wlewane były na gorąco do stalowych bębnow o pojemności 200 dm³ i po zastygnięciu zalewane 5 cm warstwą czystego asfaltu.

Do zalet tej metody można uznać to, iż materiał wyjściowy był względnie tani i łatwo dostępny, posiadał niski punkt topnienia, dużą odporność na działanie czynników agresywnych i ługowanie wodą. Ponadto metoda ta, pozwalała na jednoczesne usuwanie wody w czasie procesu mieszania z bitumem, co umożliwiało znaczne zmniejszenie objętości i ciężaru otrzymanych odpadów. Wadą tej metody było to, że wymagała ona utrzymywania przez cały okres trwania procesu wysokiej temperatury mieszaniny w reaktorze - mieszalniku (do 250 °C), co wiązało się z utrzymaniem znacznie wyższej temperatury na ściankach reaktora (do 300 °C). Mogło powodować to termiczny rozkład asfaltu oraz niektórych składników zestalanych odpadów. Prowadzenie procesu w wysokich temperaturach stwarzało również niebezpieczeństwo wybuchu lub samozapłonu.

Powyższą metodę zestalania odpadów promieniotwórczych stosowano do roku 2001.

W roku 1976 opracowano i wdrożono technologię oczyszczania ciekłych odpadów promieniotwórczych metodą sorpcji na mieszaninie syntetycznych sorbentów nieorganicznych, złożonej z siarczynu baru i żelazocyjanku miedzi, która jest stosowana do dnia dzisiejszego. Mieszanina ta dodawana jest w postaci wodnej zawiesiny. Po rozdzieleniu faz, materiał sorpcyjny

¹ Hobok- pojemnik metalowy, z wiekiem stalym lub zdejmowanym, używany do transportu materiałów.

zawiera od 80 do 99% początkowej aktywności ścieków i poddawany jest dalszemu procesowi przetwarzania (zestalania).

Ponadto w 1976 roku powstały magazyny stałych i ciekłych odpadów promieniotwórczych rozwiązujące problem segregacji odpadów i umożliwiające ich okresowe przechowywanie celem obniżenia aktywności odpadów przed przystąpieniem do przetwarzania.

Szlamy postrąceniowe powstałe w wyniku oczyszczania niskoaktywnych ciekłych odpadów promieniotwórczych o dużej zawartości wody, musiały być poddawane dalszemu przetwarzaniu polegającemu na redukcji objętości i przeprowadzeniu w postać ciała stałego przed ich składowaniem.

W 1981 roku wprowadzono nowe metody przetwarzania odpadów stałych, które są wykorzystywane do dnia dzisiejszego:

- **Zestalanie w żywicach mocznikowo-formaldehydowych (ŻMF)**

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

Uzyskano wartość współczynnika dekontaminacji 0,5 i współczynnika redukcji objętości także 0,5.

- **Zestalanie w żywicy epoksydowej**

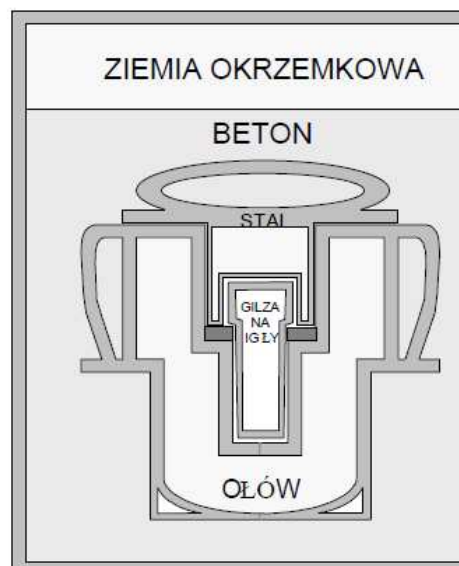
Technologia zestalania odpadów w żywicy epoksydowej jest stosowana do utrwalaania zużytych jonitów, tj. materiału filtracyjnego w układzie oczyszczania wód obiegów chłodzenia reaktora MARIA. Zestalaniu podlega zawiesina jonitów zawierająca 65% wody. Jonit jest odwadniany do zawartości wody ok. 30%, a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

W 1991 roku uruchomiono instalację prasowania odpadów stałych, która jest wykorzystywana do dnia dzisiejszego. Przetwarzanie polega na zmniejszeniu objętości odpadów poprzez zgniatanie w stalowych 200 dm³ bębnach, w prasie hydraulicznej typ PHR o nacisku 12 ton. W zależności od rodzaju prasowanych odpadów, uzyskiwane wartości współczynników redukcji objętości (WRO) wynoszą 1,5 ÷ 3,0.



Rys. 1 i 2. Prasa hydrauliczna wykorzystywana do prasowania odpadów stałych.

W roku 1994 rozpoczęto unieszkodliwianie źródeł radowych. Zużyte źródła radowe zatapiane są w ampułce szklanej i umieszczane w mosiężnej gilzie. Gilza jest następnie hermetycznie zamykana w zasobniku ze stali nierdzewnej, który wkładany jest do gniazda osłonowego, pojemnika ołowianego K-50 lub K-90. Pojemnik ten jest ostatecznie umieszczany w obudowie ze stali zwykłej i zalewany betonem. Po ułożeniu warstwy na powierzchni pokrytego betonem pojemnika, obudowa zamykana jest pokrywą i zaspawana.



Rys. 3, 4. Przekrój przez pojemnik na wycofane z użytkowania zamknięte źródła radowe.

W roku 1995 rozpoczęto unieszkodliwianie czujek dymu. Kierując się zasadą racjonalnego wykorzystania cennej objętości magazynowej dla odpadów długozyciowych opracowano w Zakładzie Doświadczalnym Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych technologię przetwarzania czujek dymu polegającą na ich demontażu, kontroli i kierowaniu na odpady samych źródeł (Am-241, Pu-239 i Pu-238); oszczędność miejsca wynosi w ten sposób co najmniej 95%.



Rys. 5. Boks do demontażu czujek dymu.



Rys. 6. Demontaż czujki dymu.

Po zaprzestaniu zestalania szlamów postrąceniowych i koncentratów powyparnych metodą asfaltowania w **2001 roku** w ramach pomocy technicznej Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej uruchomiono nową instalację do zestalania odpadów z wykorzystaniem cementu jako materiału wiążącego. Nowa technologia zestalania polega na wymieszaniu odpadów promieniotwórczych w odpowiedniej proporcji ze specjalną mieszanką cementu z dodatkami polepszającymi właściwości produktów zestalania. Najkorzystniejsze własności produktu cementowania osiąga się gdy stosunek woda / cement = 0,4 (max.0,8). Instalacja umożliwia mieszanie odpadów w bębnie, który jest jednocześnie opakowaniem ostatecznym. W celu zabezpieczenia otoczenia przed skażeniami produkty cementowania są zalewane warstwą rzadkiej zaprawy cementowej.



Rys. 7, 8. Instalacja do cementowania szlamów postrąceniowych i koncentratów powyparnych.

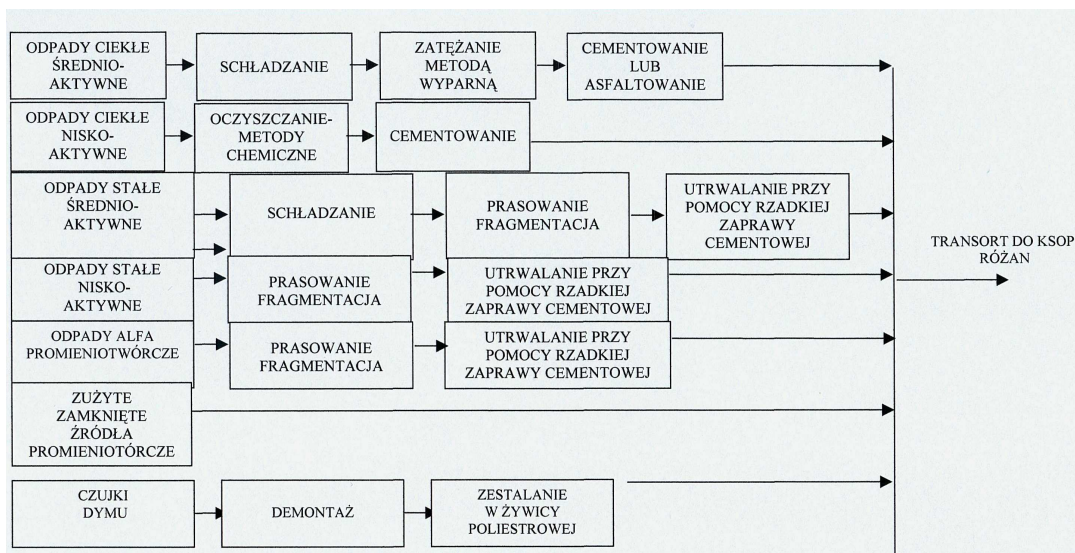
W 2003 roku uruchomiono nową instalację wyparną do zateżania ścieków średnioaktywnych. Osiągane wartości współczynników dekontaminacji sięgają sto tysięcy tzn., że aktywność destylatu może być nawet sto tysięcy razy mniejsza niż aktywność ścieku wyjściowego. W procesie wyparnym usuwane są również zanieczyszczenia typu chemicznego (np. metale ciężkie). W związku z tym metody wyparne są szczególnie korzystne dla środowiska, gdyż czystość destylatu, jest

porównywalna z czystością wód rzek i jezior kwalifikowanych jako czyste. Usuwanie do kanalizacji oczyszczonego ścieku zawsze poprzedzone jest kontrolą radiometryczną, której wynik jest podstawą decyzji o tym sposobie postępowania. Koncentrat powyparny podlega zestaleniu w procesie betonowania.

Znaczącym osiągnięciem w zakresie technologii oczyszczania ciekłych odpadów promieniotwórczych w ZUOP było opracowanie i zbudowanie w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej 3 stopniowej instalacji odwróconej osmozy, przeznaczonej do oczyszczania / zateżniania niskozasolonych ciekłych odpadów promieniotwórczych. **Od 2003 roku** stanowi ona element ciągu technologicznego unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych w ZUOP w Świerku. Odzyskana woda jest niemal całkowicie wolna od radionuklidów. Efektywność oczyszczania ścieków wynosi 99,9% przy wydajności rzędu 2 m³/h, a współczynnik redukcji objętości ścieku osiąga wartości od 2 do 20.



Rys. 9. Instalacja odwróconej osmozy.



Rys. 10. Schemat postępowania z odpadami w Polsce.

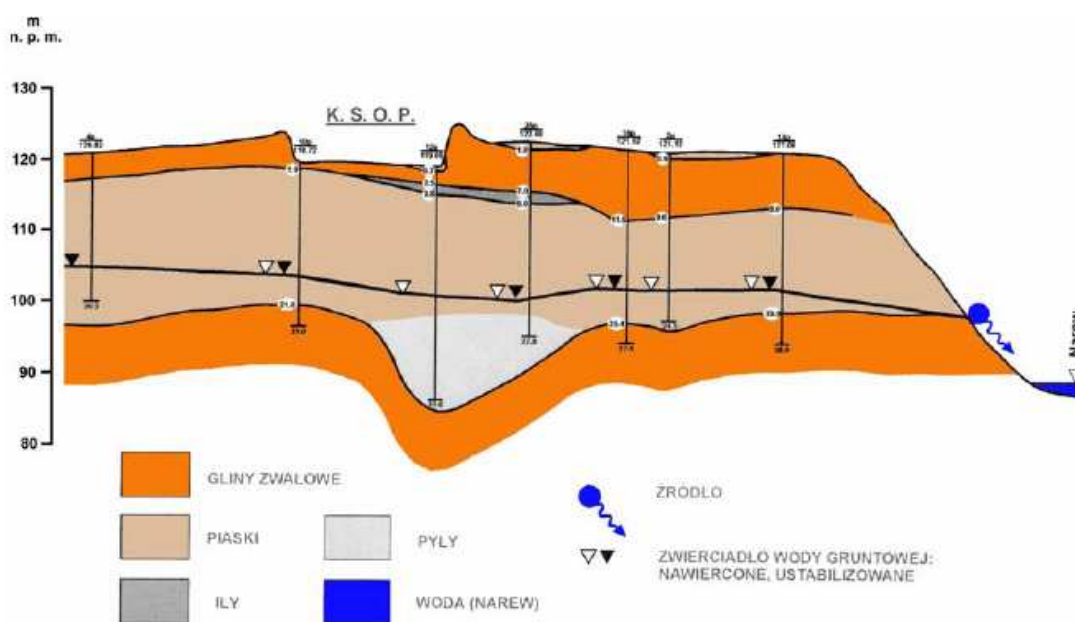
Ilość przetworzonych odpadów promieniotwórczych przeznaczonych do okresowego lub ostatecznego składowania wynoszą rocznie ok. 45 m³. Są to stałe, zestalone odpady o wadze ok. 70 ton, które zajmują objętość ok. 80 m³, z czego 35 m³ przypada na materiały wiążące – głównie beton. Zestalone odpady umieszczane są w metalowych hobokach lub bębnach o pojemności odpowiednio 0,05 i 0,2 m³ zabezpieczonych dwustronnie warstwą cynku i transportowane są do jedynej w Polsce Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Róźnie.



Rys. 11. Objętość odpadów promieniotwórczych przekazanych do składowania w latach 1961-2008.

4. SKŁADOWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W KRAJOWYM SKŁADOWISKU ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH (KSOP) W RÓŻANIE

KSOP położone jest w miejscowości Różan nad Narwią w odległości ok. 90 km od Warszawy i mieści się na terenie dawnego fortu zajmując powierzchnię 3,045 ha. Od strony północnej fortu, w odległości ok. 400 m, znajdują się zabudowania miejskie, zaś od strony północno – wschodniej oddalona o ok. 800 m rzeka Narew. KSOP funkcjonuje już od 1961 roku i według klasyfikacji Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej jest typem składowiska powierzchniowego. Składowisko to, zajmujące obszar 3,045 ha, znajduje się w jednym z dawnych fortów wojskowych, wybudowanych przez władze rosyjskie w latach 1905-1908. Wody gruntowe znajdują się pod warstwą gliny o bardzo małej przepuszczalności i warstwą gleby o właściwościach sorpcyjnych na głębokości kilkunastu metrów poniżej składowiska (patrz rys.12).

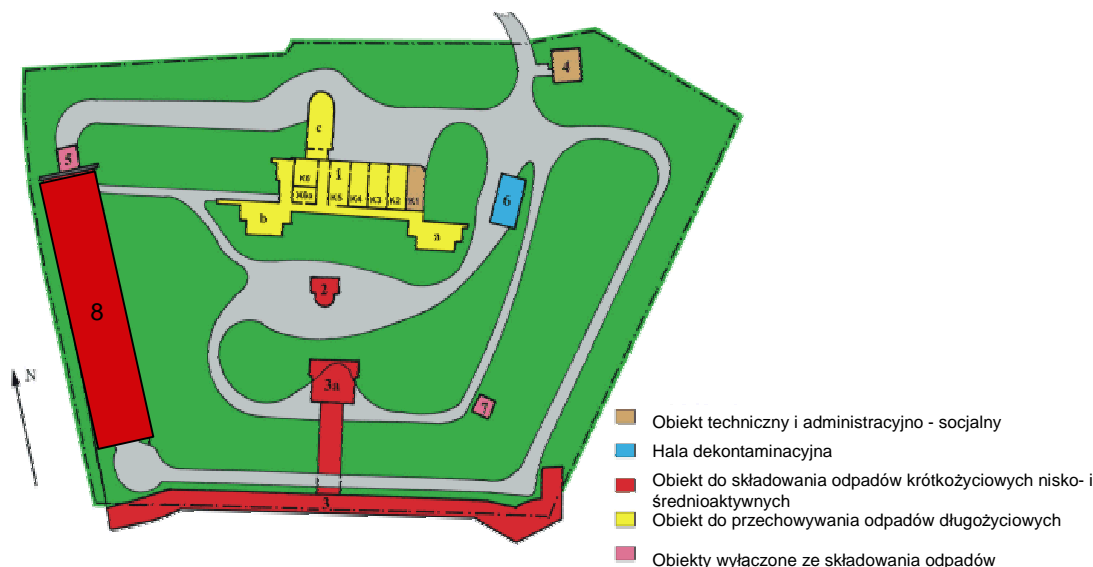


Rys. 12. Przekrój przez system hydrogeologiczny terenu Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

Skład podłoża przeciwdziała skutecznie migracji odpadów, które mogłyby na skutek nieszczęśliwych wydarzeń przeniknąć do gleby i rozprzestrzeniać się dalej przez wody gruntowe.

Miejscem składowania odpadów są obiekty betonowe fortu, częściowo pokryte ziemią (obiekty 1, 2, 3 i 3a) oraz fragment fosy zachodniej (obiekt nr 8).

Rozmieszczenie obiektów na terenie Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie przedstawiono na rysunku nr 13.



Rys. 13. Rozmieszczenie obiektów na terenie Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych w Różanie.

Składowisko to przeznaczone jest do składowania krótkożyciowych odpadów nisko- i średnioaktywnych oraz do okresowego przechowywania odpadów długożyciowych.

W KSOP mogą być składowane odpady wyłącznie w postaci stałej lub zestalonej, a ponadto muszą spełniać następujące wymagania jakościowe:

- nie powinny wydzielać produktów gazowych (wyjątek stanowią odpady zawierające izotopy rozpadające się do produktów gazowych, np. Ra-226-dla nich opracowana jest specjalna technologia opisana w punkcie 3.2),
- nie powinny zawierać substancji wybuchowych, łatwopalnych lub wykazujących się powinowactwem chemicznym w stosunku do barier ochronnych,
- nie powinny zawierać cieczy nie związanej powyżej 1% całkowitej masy odpadów,
- ługowalność z produktów zestalania odpadów niskoaktywnych nie powinna być większa niż $10^{-2} \text{ g} \times \text{cm}^{-2} \times \text{d}^{-1}$, a dla średnioaktywnych $10^{-3} \text{ g} \times \text{cm}^{-2} \times \text{d}^{-1}$,
- pojemniki z odpadami powinny być szczelnie zamknięte w sposób zabezpieczający przed wydostaniem się odpadów na zewnątrz.

Długożyciowe odpady alfa promieniotwórcze przechowywane są w komorach betonowych budowłach fortu. Grubości ścian i stropów w obiektach wynoszą 1,2 - 1,5 m, co zapewnia pełną osłonność biologiczną umieszczonych w nich odpadów. Odpady te, przed ostatecznym zamknięciem składowiska w Różanie, będą przeniesione do innego składowiska. Największą objętościowo grupę odpadów alfa promieniotwórczych stanowią wycofywane z eksploatacji czujki dymu ze źródłami Am-241, Pu-239 i Pu-238 oraz wycofane z użytkowania źródła radowe.

Miejszem składowania odpadów krótkożyciowych nisko- i średnioaktywnych jest także fragment adaptowanej do tego celu suchej fosy. Dno i zbocza fosy pokryte są 20 cm warstwą betonu. Stałe i zestalone odpady w dwustronnie ocynkowanych bębnach metalowych umieszczane są w fosie warstwami. Następnie zalewane są betonem z dodatkiem bentonitu, który, z uwagi na właściwości

sorpcyjne, wspomaga skuteczność izolacji odpadów. Ostatnie, najwyżej znajdujące się odpady pokrywane są 40 cm warstwą betonu i zaimpregnowane mieszkanką bitumiczną ograniczającą możliwości infiltracji wód opadowych do wnętrza tej konstrukcji.

Zużyte zamknięte źródła promieniotwórcze krótkożyciowe nisko – i średnioaktywne składa się w podziemnym betonowym obiekcie składającym się z 12 komór. Po wykorzystaniu poszczególnych komór są one wypełnione betonem w celu ograniczenia poziomu promieniowania na zewnątrz komór. Wlana zostanie również zaprawa cementowa, natomiast wlot komory zostanie odpowiednio uszczelniony i zamknięty.

Skuteczność stosowanych zabezpieczeń (barier) jest systematycznie sprawdzana przez kontrolę:

- narażenia radiologicznego pracowników na podstawie pomiarów indywidualnych,
- radioaktywności podstawowych elementów środowiska naturalnego (powietrze, woda, gleba, roślinność),
- poziomu promieniowania na terenie i otoczeniu składowiska.

Dla zapewnienia maksymalnej obiektywności badań stanu radiologicznego środowiska, prowadzone są one przez jednostki niezależne od prowadzącego eksploatację Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych, a mianowicie:

- Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych Instytutu Energii Atomowej,
- Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej na zlecenie Państwowej Agencji Atomistyki,
- Dozór Jądrowy Państwowej Agencji Atomistyki,
- Państwowy Instytut Geologiczny.

Zapewnia to pełną wiarygodność i wzajemną kontrolę wykonywanych pomiarów. Kontrola indywidualna narażenia pracowników prowadzona jest na podstawie pomiarów napromieniowania zewnętrznego oraz pomiarów skażeń wewnętrznych. Uzyskane wyniki wskazują, że u żadnej z kontrolowanych osób nie stwierdzono, aby skuteczne dawki obciążające przekroczyły 1% wartości granicznej (20 mSv/rok wynosi dawka graniczna dla osób narażonych zawodowo).

Na podstawie pomiarów spektrometrycznych określających zawartość nuklidów gamma promieniotwórczych w ich organizmach można stwierdzić, że nie zarejestrowano przypadków przekroczenia zawartości radionuklidów pochodzenia naturalnego, które występują u wszystkich ludzi. Rejestruje się bardzo małe stężenia Cs-137 (obecność tego radionuklidu spowodowane jest awarią elektrowni w Czarnobyli i testami z bronią jądrową na świecie).

Pomiary radioaktywności podstawowych elementów środowiska naturalnego w otoczeniu KSOP nie odbiegają od wartości występujących w środowisku naturalnym.

Wartość mocy dawek promieniowania gamma w otoczeniu składowiska nie odbiegają od poziomów rejestrowanych na pozostałym obszarze Polski. Dla porównania poniżej przedstawiono tabele wartości mocy dawek uzyskanych ze stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych 2006 i 2007 roku zlokalizowanych na terenie Polski.

Tabela 2. Wartości mocy dawek promieniowania gamma uzyskane ze stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych w 2006 r.

Stacje*	Miejscowość (lokalizacja)	Zakres średnich dobowych [nGy/h]	Średnia roczna [nGy/h]
PMS	Białystok	46 – 95	67
	Gdynia	89 – 106	93
	Koszalin	67 – 91	81
	Kraków	91 – 120	103
	Łódź	62 – 84	73
	Lublin	67 – 117	96
	Olsztyn**	59 – 111	83
	Sanok	77 – 109	91
	Szczecin	63 – 167	95
	Toruń	84 – 105	91
	Warszawa	48 – 100	77
	Wrocław	53 – 71	61
	Zielona Góra	72 – 90	80
IMiGW	Gdynia	85 – 95	90
	Gorzów	91 – 107	99
	Legnica	94 – 124	108
	Lesko	89 – 127	112
	Mikołajki	72 – 106	93
	Świnoujście	78 – 98	90
	Warszawa	69 – 94	82
Włodawa	70 – 112	82	

Źródło: Biuletyn Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2006 roku.

* PMS (Permanent Monitoring Station)- trzynaście stacji automatycznych należących do Państwowej Agencji Atomistyki i działających w systemach międzynarodowych Unii Europejskiej i Państw Bałtyckich, które wykonują ciągłe pomiary:

- mocy dawki promieniowania gamma oraz widma promieniowania gamma powodowanego skażeniami powietrza i powierzchni ziemi,

- intensywności opadów atmosferycznych oraz temperatury otoczenia.

* IMiGW- dziewięć stacji należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, które wykonują:

- ciągłe pomiary mocy dawki promieniowania gamma oraz widma promieniowania gamma i aktywności całkowitej alfa i beta aerozoli atmosferycznych (7 stacji);

- pomiar aktywności całkowitej beta w próbach tygodniowych opadu całkowitego oraz oznaczenie zawartości Cs-137 w próbach miesięcznych opadu.

** Pomiary od 1 maja 2006r.- po modernizacji stacji.

Tabela 3. Wartości mocy dawek promieniowania gamma uzyskane ze stacji wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych w 2007 r.

Stacje*)	Miejscowość (lokalizacja)	Zakres średnich dobowych [nGy/h]	Średnia roczna [nGy/h]
PMS	Białystok	53 – 101	70
	Gdynia	93 – 114	99
	Koszalin	62 – 117	77
	Kraków	84 – 147	101
	Łódź	60 – 86	68
	Lublin	82 – 112	98
	Olsztyn	80 – 111	92
	Sanok	79 – 116	92
	Szczecin	64 – 99	78
	Toruń	76 – 102	85
	Warszawa	80 – 100	86
	Wrocław	45 – 109	59
	Zielona Góra	66 – 88	73
	IMiGW	Gdynia	82 – 95
Gorzów		93 – 109	99
Legnica		94 – 122	109
Lesko		98 – 134	114
Mikołajki		65 – 115	91
Świnoujście		85 – 101	91
Warszawa		68 – 102	84
Włodawa		67 – 87	76
Zakopane		96 – 142	119

Źródło: Biuletyn Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2007 roku

W analogicznym okresie w otoczeniu KSOP w Różanie (2006 r.) moc dawki promieniowania gamma w powietrzu, uwzględniająca promieniowanie kosmiczne oraz ziemskie (pochodzące od radionuklidów zawartych w glebie) wahała się w granicach od 90 nGy/h do 115 nGy/h, przy średniej rocznej 101 nGy/h. Moc dawki promieniowania gamma powietrzu w 2007 roku w otoczeniu KSOP Różan wahała się w granicach 83,7 nGy/h do 105,6 nGy/h przy średniej rocznej 94,4 nGy/h.

Wyniki pomiarów promieniowania gamma w Polsce oraz w otoczeniu KSOP w Różanie utrzymuje się od wielu lat na stałym poziomie. Przytoczone dane wykazują, że moce dawek w otoczeniu KSOP w Różanie są na porównywalnym poziomie, co na pozostałym obszarze w kraju.

Zróżnicowane wartości mocy dawki (nawet dla tej samej miejscowości) wynikają z lokalnych warunków geologicznych decydujących o poziomie promieniowania ziemskiego.

Nie stwierdzono również wśród społeczności miasta Różan żadnych ujemnych skutków zdrowotnych w wyniku eksploatacji składowiska. Na podstawie przeprowadzonych badań przez Centrum

Onkologii Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie wynika, że umieralność na choroby nowotworowe w gminie Różan należy do najniższych w Polsce.

WNIOSKI

1. Stosowane w ZUOP 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 przeznaczonych do okresowego przechowywania 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 redukcji objętości oraz otrzymanie produktów zestalania tzw. produktów końcowych o zwiększonej odporności na ługowanie, odporności chemicznej i wytrzymałości mechanicznej.
2. Dotychczasowe doświadczenia eksploatacji składowiska w Różanie, nie wykazują jego negatywnego oddziaływania na ludzi i poszczególne elementy środowiska.
3. Środowisko naturalne jest w sposób ciągły monitorowane zarówno przez ZUOP jak i instytucje niezależne. Monitoringowi podlegają wody, roślinność, powietrze na terenie oraz w otoczeniu KSOP w Różanie. Wyniki tego monitoringu i regularnie wykonywanej oceny narażenia personelu, wskazują, że zawartość substancji promieniotwórczych w badanych elementach środowiska jest niezmiennie poniżej granicznych wartości. Świadczy to, że prowadzona przez ZUOP działalność związana z eksploatacją KSOP nie stwarza zagrożenia dla ludności i środowiska.
4. Narażenie pracowników ZUOP zawsze utrzymuje się na poziomie poniżej dawek granicznych (w większości nie przekraczających granicy czułości stosowanych precyzyjnych metod pomiarowych).
5. W dotychczasowej działalności nie stwierdzono przypadków zdarzeń mogących spowodować znaczące w świetle wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej narażenie pracowników i środowiska.