

[Akceptuje](#)

W ramach naszej witryny stosujemy pliki cookies w celu świadczenia państwu usług na najwyższym poziomie, w tym w sposób dostosowany do indywidualnych potrzeb. Korzystanie z witryny bez zmiany ustawień dotyczących cookies oznacza, że będą one zamieszczone w Państwa urządzeniu końcowym. Możecie Państwo dokonać w każdym czasie zmiany ustawień dotyczących cookies. Więcej szczegółów w naszej [Polityce Prywatności](#)

[Portal](#) [Informacje](#) [Katalog firm](#) [Praca](#) [Szkozenia](#) [Wydarzenia](#) [Porównania międzylaboratoryjne](#)
[Kontakt](#)



[Laboratoria](#)
[.net](#)
[Innowacje](#)
[Nauka](#)
[Technologie](#)

[Logowanie](#) [Rejestracja](#) [pl](#)

Newsletter

zapisz się




[Strona główna](#) > [Start](#)

Co robić z odpadami radioaktywnymi?

Energetyka jądrowa szczydzi się tym, że bierze pełną odpowiedzialność za odpady produkowane w elektrowniach jądrowych, zapewnia technologię ich unieszkodliwiania i oddzielania od biosfery, dopóki nie przestaną być groźne oraz dostarcza środki finansowe potrzebne do tego celu. Odpady z elektrowni jądrowej nie są rozsypywane po polach ani wyrzucane w atmosferę. Są one starannie zbierane, zamykane w pojemniki i przechowywane pod kontrolą, tak by nie mogły szkodzić ani nam, ani przyszłym pokoleniom.

A w przeciwieństwie do odpadów z innych źródeł energii, zawierających trucizny, które za milion lat będą równie groźne jak są dzisiaj, odpady radioaktywne z każdym rokiem stają się mniej groźne. Mniej - bo każdy rozpad jądra radioaktywnego izotopu oznacza, że te jądro przestaje być radioaktywne, a więc całkowita pozostająca radioaktywność maleje. Dlatego w perspektywie dziesiątków lub setek lat zagrożenie od odpadów krótko- i średniożyciowych maleje tak bardzo, że przestają być groźne, tak jak niegroźne są pierwiastki radioaktywne w glebie w naszych ogródkach. **Odpady nisko i średnio aktywne** to szeroka gama przedmiotów i materiałów, począwszy od rękawiczek gumowych i pokrowców ochronnych na obuwie (są to tzw. odpady niskoaktywne) poprzez ścieki z obiegów chłodzenia elektrowni i odpady stałe (odpady średnioaktywne). Są one

podobne do odpadów z przemysłu i medycyny, z jakimi mamy już ponad pół wieku dobrego doświadczenia w naszym kraju.

Odpady długożyciowe i wysokoaktywne, zawierające niektóre radionuklidy powstające w procesach rozszczepienia lub przemian jądrowych izotopów uranu, są groźne dłużej, przez tysiące lat. Dlatego składowiska na te odpady buduje się głęboko pod ziemią i z zachowaniem specjalnych wymagań. Ale w kategoriach geologicznych nawet tak długi czas rzędu dziesiątków i setek tysięcy lat jest krótki. Umiemy już rozwiązać problemy techniczne dla unieszkodliwienia nawet najgroźniejszych odpadów. Odpadów tych ich niewiele, jak widać na rysunku poniżej. 

Ilość odpadów radioaktywnych (zeszklawionych), jaka przypada na osobę na całe życie przy czerpaniu energii wyłącznie z EJ (J. Włodarski)

Ilości odpadów wytwarzanych przez elektrownię jądrową, które są starannie zabezpieczone i odseparowywane od otoczenia (ok. 180 m³/GWe-rok, w tym odpady wysokoaktywne ok. 3 m³/GWe-rok) są znikomo małe w porównaniu z odpadami wytwarzanymi przez elektrownie węglowe i składowane na otwartych składowiskach (masa samych odpadów stałych to około 500 000 t/GWe-rok).

Dobre doświadczenia z Różana

Zacznijmy jednak od odpadów o małej i średniej aktywności, z którymi mamy już w Polsce bogate i dobre doświadczenie, bo od pół wieku są one skutecznie unieszkodliwiane i składowane w Krajowej Składowicy Odpadów Promieniotwórczych w Różaniu nad Narwią.

Składowisko jest umieszczone w dawnym forcie wojskowym o ścianach grubości około 1,5 m, które zapewniają pełną osłonność biologiczną ulokowanym w nich odpadom. Wody gruntowe znajdują się pod warstwą gliny o bardzo małej przepuszczalności i warstwą gleby o właściwościach sorpcyjnych na głębokości kilkunastu metrów poniżej składowiska. Skład podłoża przeciwdziała skutecznie migracji odpadów, które mogłyby na skutek nieszczęśliwych wydarzeń przeniknąć do gleby.

W tym składowisku znajdują się zużyte radioizotopy ze szpitali, ośrodków medycznych i zakładów przemysłowych z całej Polski, produkowane w reaktorach Instytutu Energii Atomowej w Świerku. Są tam także nisko- i średnioaktywne odpady z tych reaktorów, odpowiednio zagęszczone, zalane żywicą lub zwitryfikowane i zamknięte w szczelnych pojemnikach osłonowych.

Przed wprowadzeniem do KSOP odpady są przygotowywane (kondycjonowane) do składowania. Przygotowanie to obejmuje prasowanie odpadów dla zmniejszenia ich objętości, zatopienie ich w żywicy lub betonowanie dla zapewnienia, że będą stabilne i odporne na ewentualne wymywanie, a następnie zamknięcie w pojemnikach osłonowych i szczelnych, odpornych na wilgoć i normalne wydarzenia mogące wystąpić w transporcie.

Przykład zamknięcia w pojemniku osłonowym igły radowej używanej w szpitalu do leczenia pacjentów pokazano na rysunku poniżej:



Takie pojemniki zapewniają pełne bezpieczeństwo obsłudze, a tym bardziej ludności, która nie jest narażona na promieniowanie ani podczas przewozu odpadów, ani po ich umieszczeniu w składowisku.

I rzeczywiście to składowisko nie szkodzi nikomu - ani ludziom, ani środowisku.

Zarówno na terenie składowiska, jak i wokół niego, prowadzi się monitoring lokalny, który pozwala

na ocenę sytuacji radiologicznej, ocenę zagrożenia radiacyjnego ludności, a także badanie długookresowych zmian radioaktywności. Monitoring jest prowadzony przez instytucje niezależne od prowadzącego eksploatację Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych ZUOP, a mianowicie:

- Państwowy Instytut Geologiczny,
- Dozór Jądrowy Państwowej Agencji Atomistyki.
- Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych IEA

Zapewnia to pełną wiarygodność i wzajemną kontrolę pomiarów. Okazuje się, że stężenia substancji promieniotwórczych w wodach rzeki Narew, w wodach studziennych, źródłanych oraz gruntowych nie odbiegają od wartości normalnie obecnie występujących w środowisku naturalnym.

Wszyscy pracownicy składowiska są regularnie badani na liczniku całego ciała, zapewniającym bardzo wysoką czułość pomiaru. Nie wykryto żadnych przypadków przekroczenia normalnej zawartości izotopów naturalnie występujących w organizmach wszystkich ludzi. Nie stwierdzono też wśród społeczności lokalnych żadnych ujemnych skutków zdrowotnych. Przeciwnie - umieralność na choroby nowotworowe w gminie Różan należy do najniższych w Polsce.

Odpady pod ziemię!

Po zbudowaniu elektrowni jądrowych w Polsce gama aktywności i czasów rozpadu odpadów będzie większa. Odpady promieniotwórcze z energetyki jądrowej pochodzą głównie z przetwarzania wypalonego paliwa jądrowego oraz z procesów oczyszczania obiegów technologicznych elektrowni. W wypalonym paliwie jądrowym znajdują się wysokoaktywne izotopy promieniotwórcze o różnorodnym, także o długim okresie półrozpadu. W odpadach z eksploatacji elektrowni jądrowej (nisko-, średnio- i wysokoaktywnych) są izotopy o krótkim i średnim okresie półrozpadu.

Promieniowanie odpadów radioaktywnych z elektrowni ma małą energię i wystarcza niewielka grubość materiału osłonowego, by je zatrzymać. Można się o tym łatwo przekonać - każdy, kto odwiedza reaktor badawczy MARIA w IEA w Świerku może stanąć nad basenem, gdzie pod warstwą 4 metrów wody znajdują się wypalone zestawy paliwowe reaktora. Te 4 metry wody zapewniają pełną osłonę przed promieniowaniem bezpośrednim z paliwa - równie aktywnego jak paliwo z elektrowni atomowej. Cztery metry wody to tyle, co ok. 3 metry gleby. Niewiele trzeba, by osłonić się przed promieniowaniem. A same pojemniki, w których przewozi się odpady radioaktywne, są wyposażone w warstwy osłonowe z żelaza lub ołowiu, które zapewniają pełne bezpieczeństwo otoczenia przed promieniowaniem. Dlatego bezpośredniego promieniowania nie boimy się wcale.

Zasadniczym potencjalnym zagrożeniem jest wprowadzenie odpadów promieniotwórczych do środowiska, przeniknięcie ich do wody pitnej i wchłonięcie przez istoty żywe, w których promieniowanie może oddziaływać bezpośrednio na komórki i procesy zachodzące w organizmie.

Aby zyskać pewność, że odpady będą oddzielone od biosfery, stosujemy system barier, podobnie jak w elektrowni jądrowej. System ten zapewnia odizolowanie odpadów od środowiska człowieka przez taki czas, aby ich aktywność zmalała do wartości nieszkodliwych dla otoczenia.

Systemy barier stosowane na świecie są różne, w zależności od warunków geologicznych lokalizacji składowiska, ale mają szereg wspólnych cech. Zapoznajmy się najpierw z systemem, który ma powstać w Szwecji, około roku 2015 w głębokim składowisku geologicznym w Oskarshamn. Podobnie jak w innych rozwiązaniach, szereg kolejnych barier (pojemnik na paliwo, glina bentonitowa otaczająca pojemnik, skała) zwiększa bezpieczeństwo systemu. Jeśli zawiedzie jedna bariera, inne przejmują jej rolę.

Pierwszą barierą jest pojemnik miedziany. Jego zadaniem jest odizolowanie paliwa od środowiska. Jak długo pojemnik pozostaje szczelny, nie może wystąpić żadna ucieczka radioaktywności. Największą groźbę dla całości pojemnika stanowi korozja (powodowana głównie przez tlen i związki siarki rozpuszczone w wodzie podziemnej), a także ruchy skały, mogące spowodować przełamania pojemnika. Miedź jest materiałem, który bardzo dobrze wytrzymuje działanie agresywnych substancji w wodzie podziemnej. Wkładki żeliwne pozwalają pojemnikowi przetrzymać bardzo duże obciążenia mechaniczne.

Pojemnik otoczony jest warstwą gliny bentonitowej zwanej buforem, ponieważ chroni ona pojemnik przed małymi ruchami w warstwie skalnej i utrzymuje go na miejscu. Bufor ma dwie dodatkowe funkcje. Bentonit pochłania wodę i powiększa przy tym swą objętość, co praktycznie wyklucza przedostanie się wody gruntowej przez warstwę gliny i dotarcie do pojemnika. Jednocześnie bentonit działa jako filtr. Radionuklidy przywierają do powierzchni cząstek gliny. W bardzo mało prawdopodobnym przypadku uszkodzenia pojemnika, ogromna większość radionuklidów pozostanie w pojemniku. Większość tych, które wyciekną, zostanie wychwycona w bentonicie. W ten sposób znakomicie opóźniamy transport radionuklidów na powierzchnię, co zapewnia dalszy naturalny rozpad radioaktywny i redukcję ich aktywności.

Skała, w której umieszczamy składowisko, gra istotną rolę w opóźnieniu transportu radionuklidów. Głównym jej zadaniem jest ochrona pojemnika i bufora przed uszkodzeniem mechanicznym i zapewnienie stabilnego środowiska chemicznego. Z punktu widzenia pojemnika ważne jest, by w wodzie podziemnej nie było rozpuszczonego tlenu. Ponadto, mała szybkość przepływu wody w skale stanowi zaletę dla utrzymania integralności wszystkich barier.

Poniżej - schemat systemu barier zabezpieczających przed wydzieleniem radioaktywności w składowisku wypalonego paliwa w Szwecji.



A) Stos pastylek paliwowych z UO₂ w koszulce. B) Pojemnik miedziany z wkładką z żeliwa, zawierający wypalone elementy paliwowe, C) Skała, w której wykonano studnie wypełnione bentonitem, D) Część podziemna składowiska głębokiego. (J.Włodarski)

Oczywiście można rozważać, co się stanie, gdy pojemniki na wysokoaktywne odpady rozszczelniają się. **Trwałość pojemnika stalowego oceniana jest na 1000 lat,** więc ewentualne zagrożenia należy rozpatrywać dla poziomów aktywności paliwa po ok. 1000-letnim składowaniu. Zwitryfikowane cylindry z odpadami nie ulegają wymywaniu wodą, ale na wypadek, gdyby jednak jakieś odpady uległy rozpuszczeniu, ochronę stanowić będzie właśnie gruba warstwa skał oddzielająca odpady od wód powierzchniowych. **Jak dotąd nie znaleziono lepszych miejsc na składowiska niż głębokie wyrobiska w skałach solnych,** w których sól kamienna pozwala na skuteczne odprowadzanie ciepła, a jednocześnie jest łatwa do drążenia. Składować można także w iłach i granitach. Przechowywanie odpadów promieniotwórczych na poziomie 500 - 600 m pod ziemią zapewnia niewątpliwie większe bezpieczeństwo niż przechowywanie ich na powierzchni.

Stabilne Okło

W razie dyfuzji rozpuszczonych odpadów w wodzie procesy kinetyczne charakterystyczne dla dyfuzji spowodują, że pokonanie warstwy 500 - 1000 m musiałyby zająć czas porównywalny z dziesiątkami tysięcy lat. Najlepszy przykład stabilności odpadów radioaktywnych pochodzi z zupełnie innej epoki, bo sprzed niemal 2 miliardów lat. W owym czasie frakcja uranu U-235 w uranie naturalnym była znacznie większa niż obecnie i wynosiła około 3% (bo U-235 ulega rozpadowi naturalnemu z okresem połowicznego rozpadu około 700 milionów lat, podczas gdy dla U-238 okres ten wynosi ponad 4,5 miliarda lat). Stwarzało to możliwość wystąpienia łańcuchowej reakcji rozszczepienia, jeśli bogata

ruda uranowa była w kontakcie z wodą. Taka sytuacja powstała w miejscowości Oklo w Gabonie, co spowodowało ukształtowanie kilku naturalnych reaktorów jądrowych, pracujących z przerwami przez kilkaset tysięcy lat.

Pracownicy zatrudnieni w przedsiębiorstwie eksploatującym rudę uranową zauważyli, że w rudzie tej jest „za mało” uranu rozszczepialnego U-235. Było go tylko około 0,717 %, zamiast około 0,72% jak zwykle we wszystkich próbkach rudy uranowej z różnych miejsc na kuli ziemskiej. Była to różnica mała, co oznaczało, że reaktory naturalne pracowały na małej mocy i wypalały tylko około 1% uranu U-235. Dalsze pomiary wykazały jednak, że w Oklo występują również frakcje U-235 obniżone dla 0,621%, a w jednej z próbek frakcja U-235 wyniosła tylko 0,440%. Oznaczało to, że w ciągu kilkuset tysięcy lat pracy tych reaktorów frakcja wypalonego uranu wyniosła około 26%! (Nieźły wynik jak na reaktor naturalny - wypalenie osiągnięte w nowoczesnych reaktorach wynosi około 50-60%, a maksymalne to 75%).

Co więcej, w minerałach z Oklo znaleziono produkty rozszczepienia takie jak neodym, a nawet ksenon - gaz, który uwięziony w ziarnach fosforanów glinu pod rejonem grzędawisk wodnych przetrwał przez blisko dwa miliardy lat!

Produkty rozszczepienia z reaktorów naturalnych w Oklo nie były przechowywane w złożach skalnych, nie były zamykane w pojemniki, ani nie ulegały zeszkleniu. Oddziaływała na nie woda (której obecność była niezbędna, by reaktory mogły zacząć pracę), znajdowały się tuż pod powierzchnią gruntu, narażone na wszelkie procesy mogące sprzyjać ich migracji - a mimo to pozostały na miejscu, dopóki nie uległy naturalnemu rozpadowi. Tylko te najtrwalsze - o bardzo, bardzo długich okresach rozpadu i odpowiednio bardzo małej aktywności - świadczą dziś o tym, że reaktory naturalne działały naprawdę i że nie spowodowały skażeń radioaktywnych w okolicy.

Geologowie twierdzą, że procesy wymywania odpadów są bardzo powolne i nawet gdyby były one pozbawione pojemników i wityfikacji, to i tak nie wydostałyby się z głębokości 500 m na powierzchnię ziemi wcześniej niż za 20 - 100 tysięcy lat. Patrząc na próbki gazu wciąż tkwiące w minerałach w Oklo można w to uwierzyć!

Przerób paliwa wypalonego

Ale w XXI wieku preferowanym rozwiązaniem nie jest już umieszczanie wypalonego paliwa pod ziemią w całości. Prowadzimy przecież recykling i odzysk szkła, miedzi, aluminium - więc logiczne jest, że chcemy odzyskać uran i pluton z paliwa jądrowego, a na składowisko wysłać tylko takie odpady jak stront czy cez. Pozwala to zmniejszyć masę i czas życia odpadów. Na rysunku poniżej zagrożenie od nich porównano z zagrożeniem od toksycznych pierwiastków zawartych w żużlu i popiele po spalaniu węgla. Oczywiście to zagrożenie od substancji toksycznych nie maleje mimo upływu czasu. Pokazane na rysunku krzywe to:

- **Paliwo wypalone** - jest to aktywność paliwa jądrowego składowanego bez przerobu, z którego uzyskano energię elektryczną 1 GW-rok
- **Odpady po przerobie paliwa EJ** - przyjęto, że separacja plutonu nie była doskonała i odpady zawierają jeszcze 0.5% resztkowego plutonu, gdyby go nie było, krzywa aktywności malałaby znacznie szybciej
- **WK max i min** - miara toksyczności żużla i popiołu ze spalania węgla o maksymalnej lub minimalnej zawartości szkodliwych substancji.

- **Ruda uranowa** - miara szkodliwości rudy, potrzebnej do wytworzenia paliwa jądrowego dostarczającego 1GW-rok energii elektrycznej:

Wskaźnik zagrożenia radiotoksycznego dla odpadów powstających przy wytworzeniu energii elektrycznej 1 GW-rok, mierzony ilością wody, w jakiej należy rozpuścić odpady, by ich stężenie zmalało do dopuszczalnego dla wody pitnej. ❌ W razie pełnej separacji plutonu, a także oddzielenia rzadkich aktywności pozostałych odpadów po przerobieniu maleje znacznie szybciej i po upływie 300 lat jest już niższa od aktywności rudy uranowej. **Cykl zamknięty jest znacznie bardziej korzystny dla środowiska niż cykl otwarty.** Pozwala on znacznie lepiej wykorzystać paliwo jądrowe, redukuje ilość odpadów radioaktywnych oraz umożliwia ograniczenie czasu ich przechowywania do kilkuset lat.

Co ma piwo do atomu?

Jak pisałem wyżej, w Polsce mamy za sobą pomyślne przechowywanie odpadów przez pół wieku w Różanie. A czy mamy doświadczenie z przechowywania ciał stałych - lub cieczy - przez 300 lat?

Dla zilustrowania odporności przedmiotów na zniszczenie warto przytoczyć przykład zatopionego w 1628 roku w czasie katastrofy morskiej okrętu wojennego Vasa, który wydobyto po 333 latach i umieszczono w muzeum morskim w Sztokholmie. Na jego pokładzie zachowały się dobrze nie tylko armaty i rzeźby drewniane, ale nawet beczki z piwem. Wprawdzie piwo nie nadawało się do picia, ale beczki zachowały swą szczelność! Jeśli zwykłe beczki z piwem mogły wytrzymać tyle lat w trudnych warunkach podmorskich, to możemy założyć, że pojemniki z najbardziej trwałych materiałów znanych człowiekowi w XXI wieku i umieszczone w stabilnych warunkach geologicznych nie ulegną również uszkodzeniu przez kilkaset lat. Można zatem stwierdzić, że:

- Energetyka jądrowa bierze pełną odpowiedzialność za wytwarzane w cyklu jądrowym odpady radioaktywne. Pod tym względem może ona być wzorem do naśladowania dla innych gałęzi przemysłu.
- W perspektywie długoterminowej odpady średnio i niskoaktywne nie są groźne, a zagrożenie od odpadów wysokoaktywnych maleje z czasem. W przypadku recyklicacji paliwa, co jest naturalnym rozwiązaniem z punktu widzenia gospodarki odpadami w XXI w., zagrożenie od odpadów wysokoaktywnych spadnie poniżej zagrożenia od odpadów ze spalania węgla po upływie 200-350 lat.
- Środki techniczne, jakie stosujemy przy składowaniu odpadów wysokoaktywnych, pozwalają odizolować je od otoczenia przez dziesiątki tysięcy lat. Dlatego problemy techniczne unieszkodliwiania odpadów wysokoaktywnych można uważać za rozwiązane.

Natomiast problem uzyskania akceptacji społecznej jest trudny i do rozwiązania go trzeba prowadzić cierpliwy i długotrwały dialog ze społeczeństwem. Przykład Szwecji i Finlandii, gdzie uzyskano pełną zgodę miejscowych społeczności na budowę składowisk odpadów wysokoaktywnych wskazuje, że jest to problem rozwiązywalny.

Andrzej Strupczewski

Zapraszamy na stronę internetową Spraw Nauki - www.sprawynauki.edu.pl.

www.sprawynauki.edu.pl

<http://laboratoria.net/home/10549.html>

Informacje dnia: [Śląscy naukowcy opracowali model opieki kardioonkologicznej](#) [Blizny można leczyć 1/3 pracowników woli złożyć wypowiedzenie, niż wrócić do biura](#) [COVID-19 wyzwała w płucach nieoczekiwany mechanizm](#) [Choroba meningokokowa jest lekceważona](#) [Przyjmujący leki alergicy są mniej podatni na zakażenie COVID-19](#) [Śląscy naukowcy opracowali model opieki kardioonkologicznej](#) [Blizny można leczyć 1/3 pracowników woli złożyć wypowiedzenie, niż wrócić do biura](#) [COVID-19 wyzwała w płucach nieoczekiwany mechanizm](#) [Choroba meningokokowa jest lekceważona](#) [Przyjmujący leki alergicy są mniej podatni na zakażenie COVID-19](#)

Partnerzy