

Wydział Fizyki UW

Podstawy bezpieczeństwa energetyki jądrowej, 2018

ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE Z REAKTORÓW JĄDROWYCH

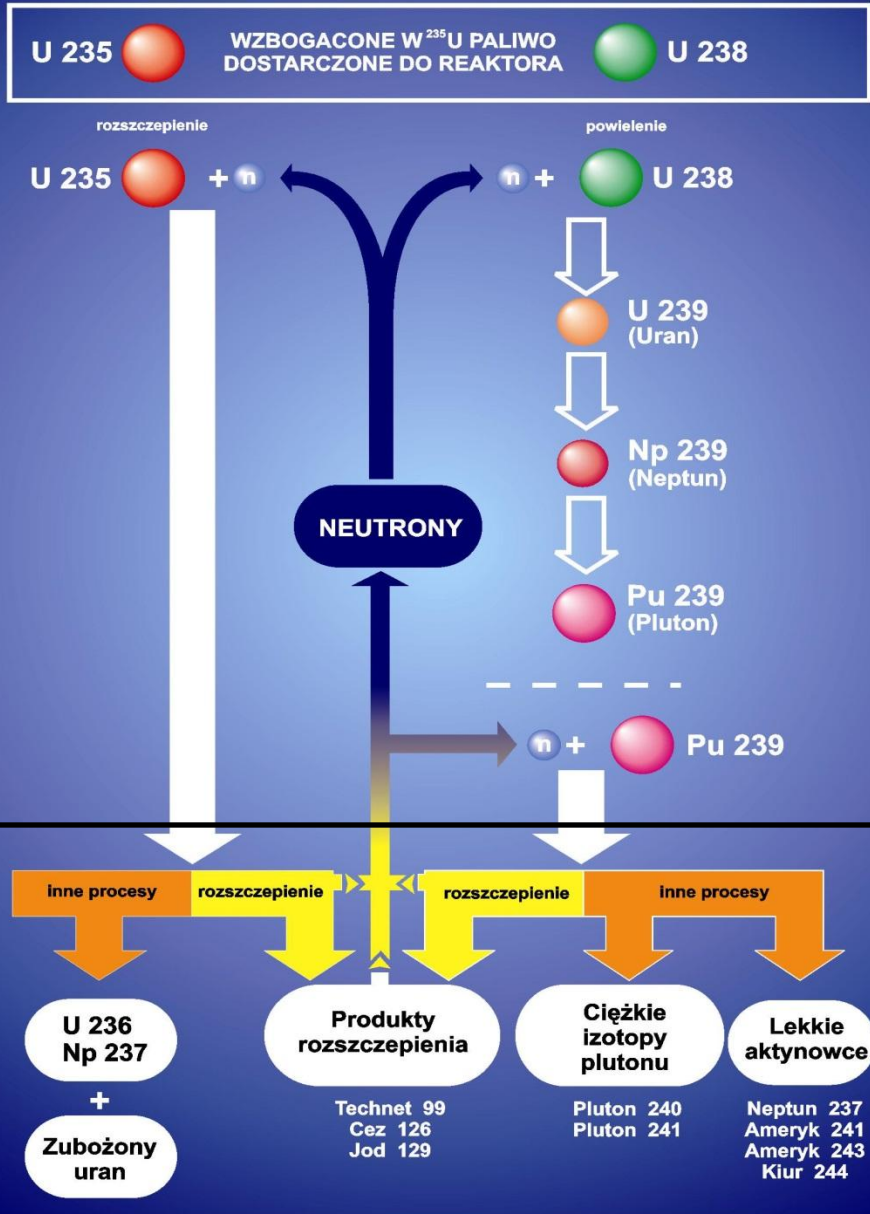
Część I

Dr inż. A. Strupczewski, prof. NCBJ
Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Plan wykładu

- Powstawanie odpadów promieniotwórczych
- Bilans energii
- Klasyfikacja i ilość odpadów
- Postępowanie z odpadami w Polsce . KSOP (Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych) Różan
- Kontrola radiologiczna dla Różana
- Składowiska w innych krajach Olkiluoto, La Manche
- Narażenie od odpadów - DOG
- Trwałość pojemników- beczki ze statku Vasa
- Demontaż EJ, wymagania, koszty.
- Transport odpadów o wysokiej aktywności- testy

POWSTAWANIE ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W REAKTORZE



wg. La Recherche (1997), str.64

Wypalanie paliwa reaktora PWR 1 GWe.

Ilość – 1 tona, czas 3 lata.

Zawartość ²³⁵U w świeżym paliwie 3,3%,

To jest **33 kg U-235**.

W ciągu 3 lat pracy taki reaktor zużywa 25 kg ²³⁵U i 24 kg ²³⁸U, a więc **pozostaje**

8 kg ²³⁵U

943 kg ²³⁸U.

Wzbogacenie uranu spada więc do poziomemu 0,8 %.

Podczas wypalania paliwa utworzyło się ponadto:

Ø 35 kg fragmentów rozszczepienia, w tym

· 20,2 kg z rozszczepienia ²³⁵U

· 11,3 kg z rozszczepienia ²³⁹Pu

· 1,8 kg z rozszczepienia ²⁴¹Pu

· 1,7 kg z rozszczepienia ²³⁸U

Ø 8,9 kg mieszaniny izotopów plutonu,

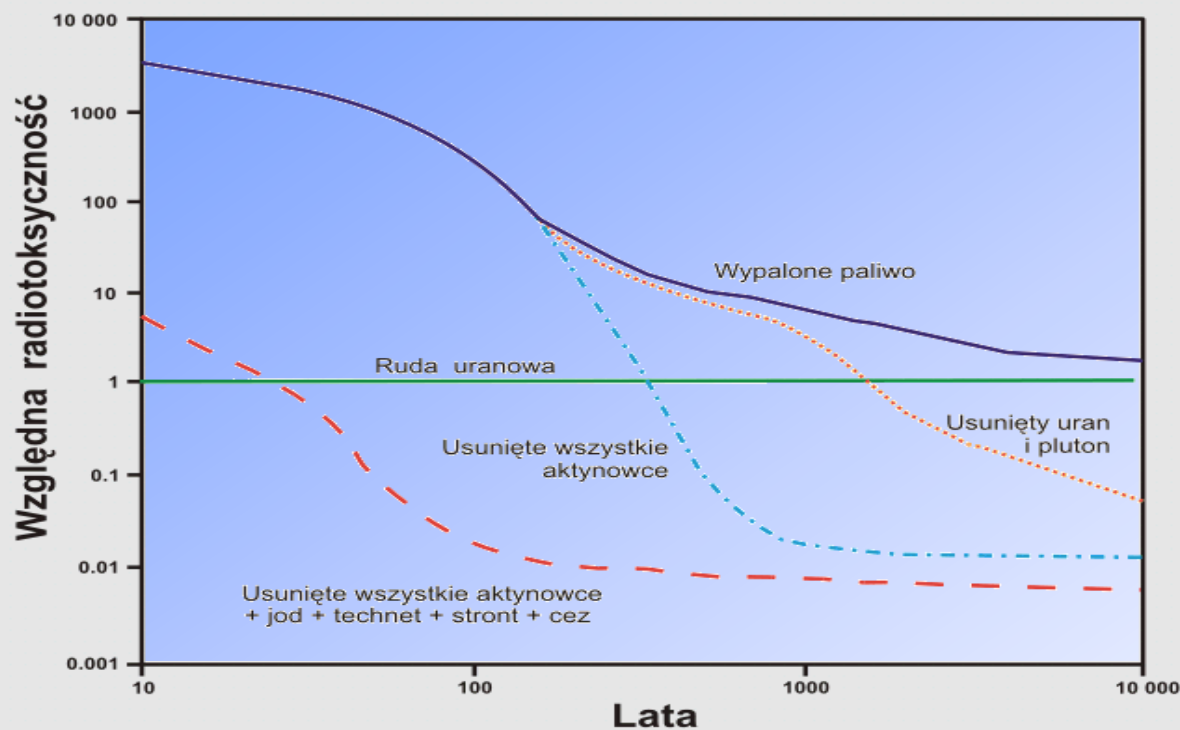
Ø 4,6 kg ²³⁶U,

Ø 0,5 kg ²³⁷Np,

Ø 0,12 kg ²⁴¹Am

Ø 0,04 kg ²⁴⁴Cm.

Zanik względnej radiotoksyczności wypalonego paliwa w czasie.



WPŁYW PROCESU PRZEROBU WYPALONEGO PALIWA
NA RADIOTOKSYCZNOŚĆ WYSOKOAKTYWNYCH ODPADÓW
POWSTAŁYCH W WYNIKU JĄDROWEGO CYKLU ENERGETYCZNEGO

W wypalonym
paliwie jest

- ponad 100 nuklidów o $T_{1/2} < 30$ minut,

- 45 nuklidów o $30 \text{ min} < T_{1/2} < 1 \text{ d}$,

- 14 nuklidów o $1 \text{ d} < T_{1/2} < 14 \text{ d}$

- 11 nuklidów o $T_{1/2} > 10 \text{ lat}$

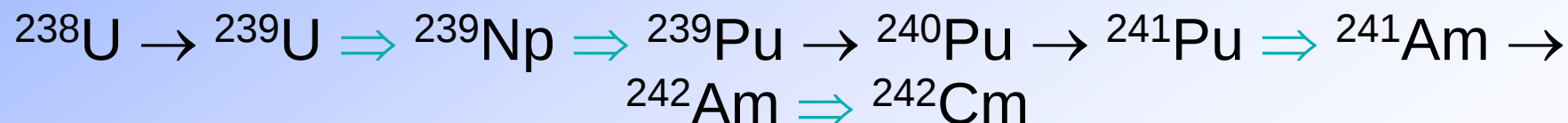
Wykres pokazuje także, jak ekstrakcja różnych grup pierwiastków promieniotwórczych z tego paliwa zmienia długożyciowość odpadu.

Powstawanie radionuklidów

Rozszczepienie jądra U-235 prowadzi do powstania takich izotopów jak ^{90}Sr , ^{137}Cs i ^{120}I ,

Transuranowce są wynikiem wychwytu neutronów przez izotop ^{238}U .

Izotopy neptunu, plutonu, czy ameryku są wynikiem (często kilkustopniowej) aktywacji uranu w drodze reakcji (n,g) i rozpadów . Jedna z możliwych dróg :



Strzałki pojedyncze reakcje (n,g),
podwójne - rozpady beta.

Bilans energii

Energia powstała z grama izotopu, którego energia rozpadu wynosi e ,
dana jest przez $E = e N_A / A$

gdzie N_{Av} oznacza liczbę Avogadro, A – liczba masowa rozpatrywanego nuklidu.

Podstawowe pierwiastki promieniotwórcze, które nas interesują to:

^{40}K , ^{232}Th , ^{235}U oraz ^{238}U .

Ich zawartość w 1 tonie gleby wynosi odpowiednio

0,88, 3,29, 0,01 oraz 1,35 g.

Aby obliczyć wkłady od np. ^{232}Th , czy obu izotopów uranu należy wziąć pod uwagę energię całych szeregów promieniotwórczych. W rezultacie średnia energia zawarta w 1 tonie gleby: wynosi:

Energia rozpadów promieniotwórczych zachodzących w glebie

Dla porównania:
energia spalania
węgla ok. 29 GJ/t
oleju ok. 42 GJ/t.

Izotop	Zawartość w 1 t gleby [g]	E/atom [MeV]	Energia rozpadu [GJ/t]
^{40}K	0,88	1,459	2,82
^{232}Th	3,29	40,7	55,7
^{235}U	0,01	44,33	0,182
^{238}U	1,35	48,7	26,66
Razem			85,36

Bilans energii dla 1 tony paliwa o wzbogaceniu 3,5%, z którego w reaktorze wodnym wyprodukowano 30 GWdni energii cieplnej, rozszczepiając 31 kg U po trzyletnim cyklu paliwowym

Masa aktynowców w wypalonym paliwie [kg]	969
Energia rozpadu [GJ]	$1,97 \cdot 10^{10}$
Energia cieplna z rozszczepień [GJ]	$2,59 \cdot 10^6$
Wyprodukowana energia elektryczna [TWh]	0,23
Energia rozpadu 31 kg uranu o wzbogaceniu 3,5% [GJ]	$5.84 \cdot 10^5$
Energia rozpadu transuranowców [GJ]	$2,65 \cdot 10^4$
Energia rozpadu prod rozszczepienia [GJ]	$1,33 \cdot 10^3$

Odpady promieniotwórcze powstają na kolejnych etapach technologicznych

Podczas **przerobu rudy uranowej**, po procesie mielenia, (ekstrakcja uranu z rudy), zostają promieniotwórcze hałdy, ilość porównywalna z ilością rudy,

Proces **wzbogacania uranu** w ^{235}U : zostawia zubożony uran, stanowiący odpad w procesie wzbogacania uranu.

Wypalone paliwo w reaktorach – można wyekstrahować zeń rozszczepialne izotopy ^{235}U i ^{239}Pu ,.

Przerób wypalonego paliwa pozostawia odpady wysokoaktywne i transuranowce. Wydobycie z wypalonego paliwa U, Pu i transuranowców przyspiesza zanik aktywności pozostałości z wypalonego paliwa. Usunięcie dodatkowo wszystkich aktynowców powodowałoby, że już po około 300 latach aktywność powstałego odpadu promieniotwórczego osiągałaby poziom aktywności uranu w glebie.

Przemysł zbrojeniowy pozostawia materiały zawierające długożyciowe transuranowce

Klasyfikacja odpadów radioaktywnych

Odpady **wysokoaktywne** HLW (od *High-Level Waste*): przerobione wypalone paliwo z reaktorów jądrowych i niektórych procedur podczas produkcji broni jądrowej. Zawierają silnie promieniotwórcze, **krótko i długo życiowe** fragmenty rozszczepienia, niebezpieczne związki **chemiczne**, toksyczne **metale ciężkie**. Mogą mieć postać ciekłą, np. z przerobu wypalonego paliwa.

Odpady **niskoaktywne** LLW (od *Low-Level Waste*): z reaktorów, a także ze źródeł promieniotwórczych (nauka, przemysł i medycyna)

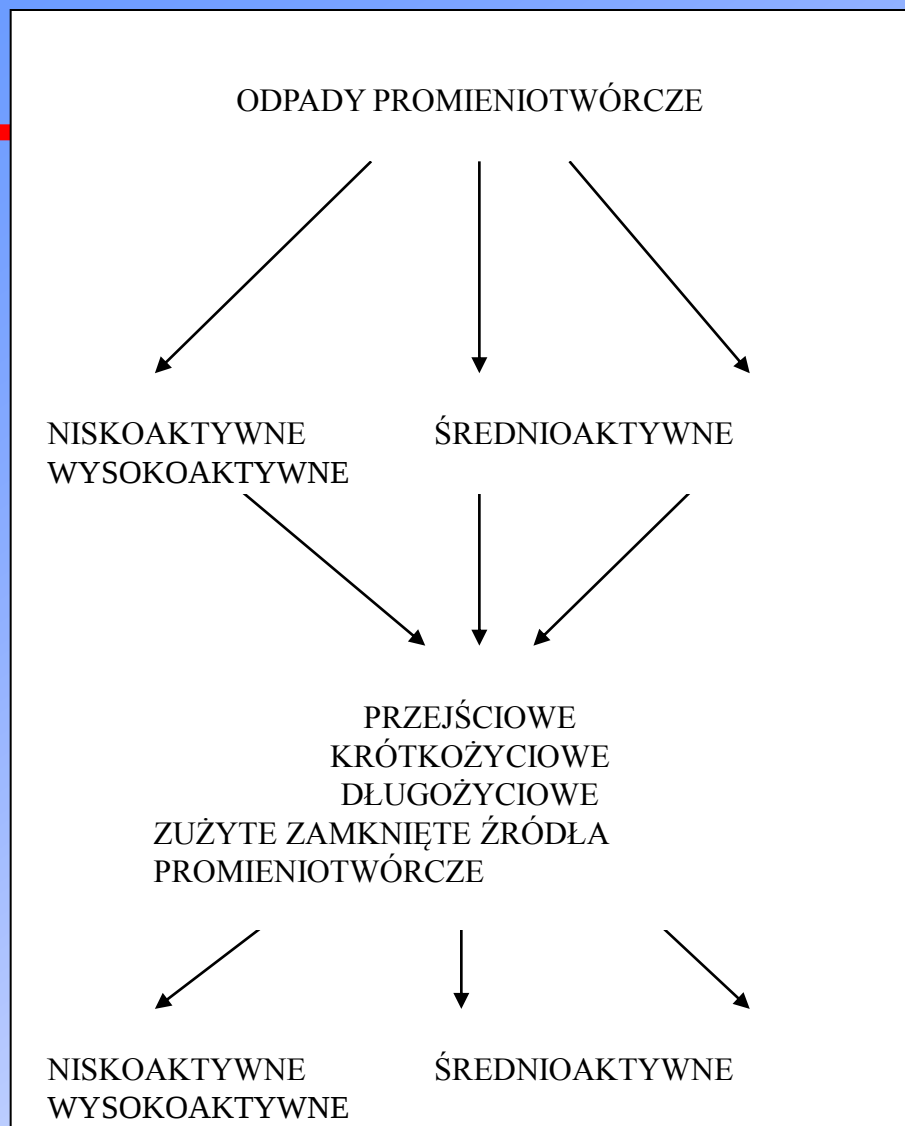
Odpady **transuranowe** TRU (od *TRansUranium*), których dostarczają fabryki przerobu paliwa oraz nuklearny przemysł zbrojeniowy

Odpady **o pośredniej aktywności** ILW (od *Intermediate Level Waste*), w Wielkiej Brytanii materiały o aktywności właściwej beta i gamma większej od $1,2 \cdot 10^7$ Bq/kg oraz aktywności alfa ponad $4 \cdot 10^6$ Bq/kg.

Odpady **o bardzo niskiej aktywności** VLLW (od *Very Low Level Waste*), aktywność właściwa α , β i $\gamma < 400$ Bq/kg .

Ilość odpadów wysokoaktywnych (HLW)

- Jednostki: dla odpadów m³, Bq lub Ci 1 kiur, $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$; $1 \text{ Bq} = 1 \text{ rozp/s}$
- Dla wypalonych prętów paliwowych - masa zawartych w nich aktynowców (U, Pu), ton ciężkiego metalu MTHM (od ang. *Metric Tons of Heavy Metals*).
- Obecnie na świecie 230 000 ton wypalonego paliwa z EJ. W tym 4 000 ton nuklidów rozszczepialnych. W arsenałach broni jądrowej znajduje się kolejne 1 000 ton lub więcej.
- W USA w 2000 r. 42300 MTHM, w 2010 było 61 800 MTHM, ich aktywność 32 600 MCi w 2000 r a 39800 MCi w 2010 r.
- Pojemność Yucca Mountain – 70 000 ton zatwierdzone przez Kongres USA, 200 000 ton wg szacunku DoE.



Podział odpadów promieniotwórczych stosowany w Polsce

Odpady wysokoaktywne – niezależnie od aktywności, to głównie odpady o dużej zawartości uranu.

W Polsce:

wypalone paliwo jądrowe z pierwszego w Polsce reaktora EWA i pracującego obecnie reaktora MARIA, oba w Świerku k. Otwocka

Odpady średnio i nisko aktywne – z reaktorów, medycyny i przemysłu.

Typowe odpady promieniotwórcze

- **Filtry wody** w reaktorach jądrowych i zużyte wymiennicze jonowe (jonity)
- Materiały i narzędzia używane w rutynowej pracy przy instalacjach jądrowych, jak np. **zawory, części pomp**, fragmenty rurociągów
- **Wposażenie pracowni** naukowych
- **Pokrowce na buty, fartuchy, ściereczki**, ręczniki papierowe itp., używane wszędzie tam, gdzie człowiek spotyka się z materiałami promieniotwórczymi
- **Filtry używane do testów zanieczyszczenia powietrza** materiałami promieniotwórczymi, a także ciecze używane czasem do rozpuszczania tych filtrów
- **Pojemniki, ubrania, papier, wata, lignina, płyny i wyposażenie**, które miały kontakt z materiałami promieniotwórczymi stosowanymi w medycynie
- **Materiały biologiczne** używane w badaniach naukowych w różnych działach medycyny i farmacji.



Postępowanie z odpadami promieniotwórczymi spoza przemysłu jądrowego

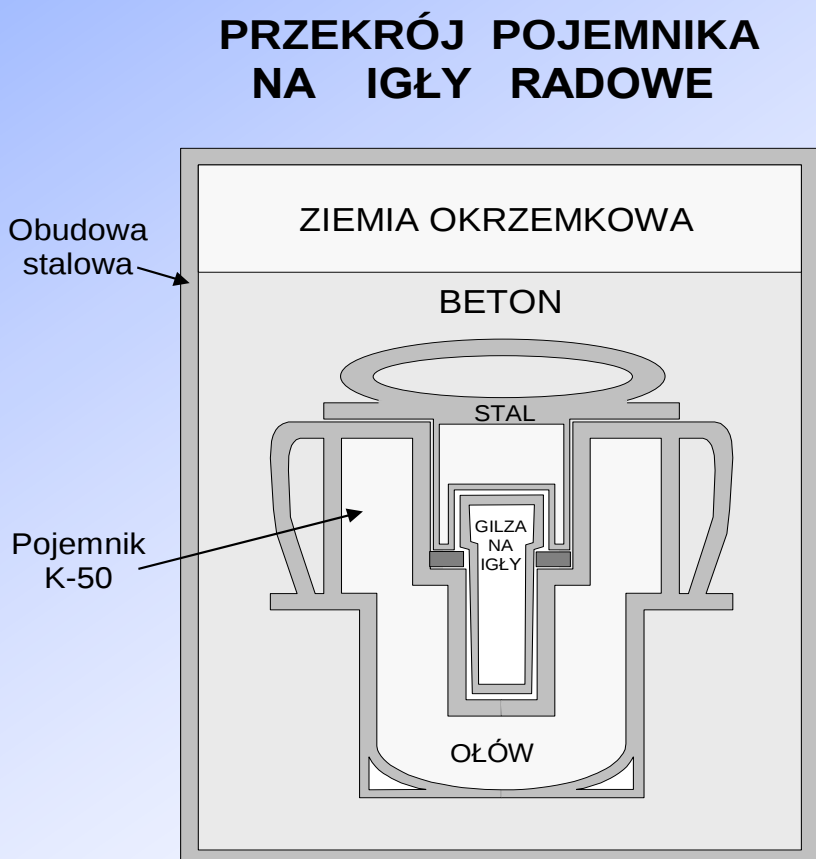
Trzy cele:

- maksymalnie zmniejszyć objętość odpadów,
- zapewnić im odporność na działanie wody i rozpraszanie oraz
- przechować w sposób nie zagrażający środowisku.

Metody realizacji: system barier zapobiegających rozprzestrzenianiu się substancji promieniotwórczych oraz pochłaniających promieniowanie :

- ***Tworzenie trudno rozpuszczalnych związków chemicznych*** (koncentratów) wiążących izotopy promieniotwórcze.
- ***Materiał wiążący*** (spoiwo), który służy do zestalania odpadów, co przeciwdziała rozsypaniu, rozproszaniu, rozpyleniu i wymywaniu substancji promieniotwórczych · np beton (osłona biologiczna), asfalt, polimery organiczne i masy ceramiczne.

Przykład barier wokół odpadów radioaktywnych z medycyny



Ciężar pojemnika – ok. 100 kg

Bębny ze stałymi odpadami promieniotwórczymi po sprasowaniu



System barier w składowisku odpadów promieniotwórczych

- **Opakowanie odpadów**, zabezpieczające je przed uszkodzeniami mechanicznymi, działaniem czynników atmosferycznych i kontaktem z wodą. Stałe lub zestalone odpady zamykane są w pojemnikach metalowych lub betonowych i w tej postaci przewożone i składowane.
- **Betonowa konstrukcja składowiska**, zabezpiecza odpady przed działaniem czynników atmosferycznych, zapobiega korozji opakowań oraz migracji substancji promieniotwórczych z miejsca ich składowania.
- **Struktura geologiczna terenu**. Teren. asejsmiczny, niezatapialny (np. w czasie powodzi) mało przydatny gospodarczo i oddalony od skupisk ludzkich. Poziom wód gruntowych niższy od poziomu składowiska, a skład podłoża musi przeciwdziałać migracji radionuklidów.
- **Impregnująca warstwa bitumiczna** pokrywająca wierzchnią warstwę betonu, zapobiega m.in. przenikaniu wód opadowych do strefy składowania odpadów, uniemożliwia korozję opakowań oraz wymywanie substancji promieniotwórczych.

Pojemniki z odpadami w KSOP Różan



Wybór miejsca na składowisko odpadów promieniotwórczych

Kryteria wyboru

- warunki geologiczne i hydrogeologiczne terenu.
- ochrona ludności przed uwolnieniem się odpadów promieniotwórczych
- zabezpieczenie ludzi przed przypadkowym wejściem na teren składowiska
- zapewnienie bezpieczeństwa ludności **podczas** działania składowiska
- i **po jego** zamknięciu

Rekompensaty finansowe dla ludności

Obecność składowiska obniża wartość terenu i zabudowań , a ludność, w obawie o swoje zdrowie, będzie domagała się lepszej opieki medycznej, sprawniejszego systemu ratowniczego, lepszych dróg dojazdowych.

Mniejsze wpływy z podatków - trzeba równoważyć opłatami operatora

Akceptacja społeczna składowiska

Ludność terenu, na którym planuje się zainstalować składowisko musi mieć pewność, że w każdej chwili będzie mogła skontrolować prawidłowość działania składowiska poprzez wybrane przez siebie służby monitorujące środowisko naturalne, i że zawsze będzie traktowana jak równorzędny partner.

Konieczność umiejętności rzeczowej i życzliwej rozmowy z reprezentantami lokalnej społeczności.

Edukacja ludności od najwcześniejszych lat jest sprawą pierwszorzędnej wagi.

Odpowiedzialni za pracę składowiska muszą więc na terenie swego działania prowadzić odpowiednią edukację dotyczącą promieniowania jonizującego.

Powodzenie i akceptacja składowisk odpadów wysokoaktywnych w Szwecji i Finlandii

Składowisko Yucca Mountain w USA przedmiotem gry politycznej

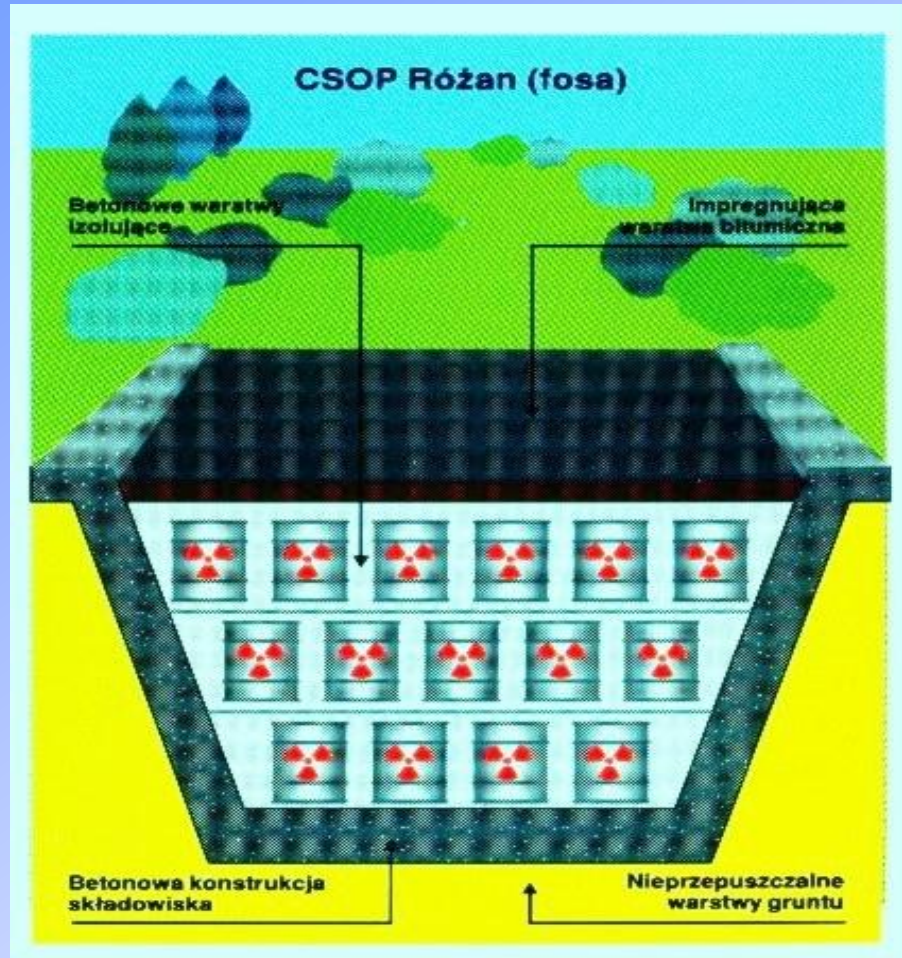
Składowanie odpadów promieniotwórczych w Polsce

- Krajowe Składowiska Odpadów Promieniotwórczych – KSOP - w Różanie nad Narwią,. (3,2 ha, w jednym z dawnych fortów wojskowych, 1908). Zaleta fortów - grube (1,2 ÷ 1,5 m) ściany i stropy betonowe. Zapewniają one pełną osłonność biologiczną ulokowanym w nich odpadom.
- Wody gruntowe 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.

KSOP w Róźnie



W Polsce odpady promieniotwórcze umieszcza się w płytkim składowisku podziemnym.



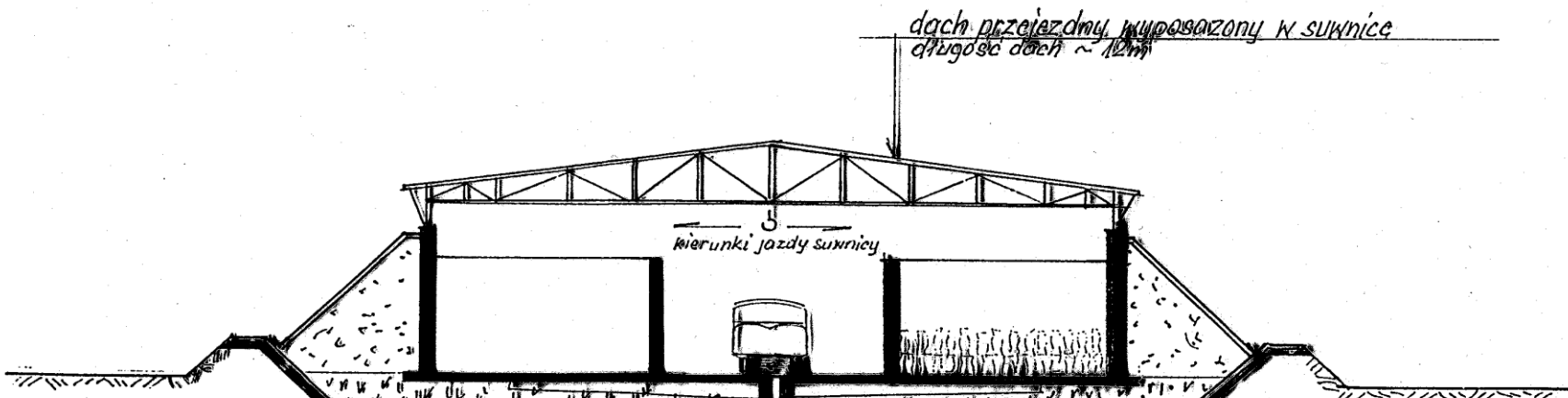
Na terenie składnicy
i w jej otoczeniu
prowadzone
są ciągłe pomiary
dozymetryczne

Główny Instytut Geologiczny,
Urząd Dozoru Jądrowego.

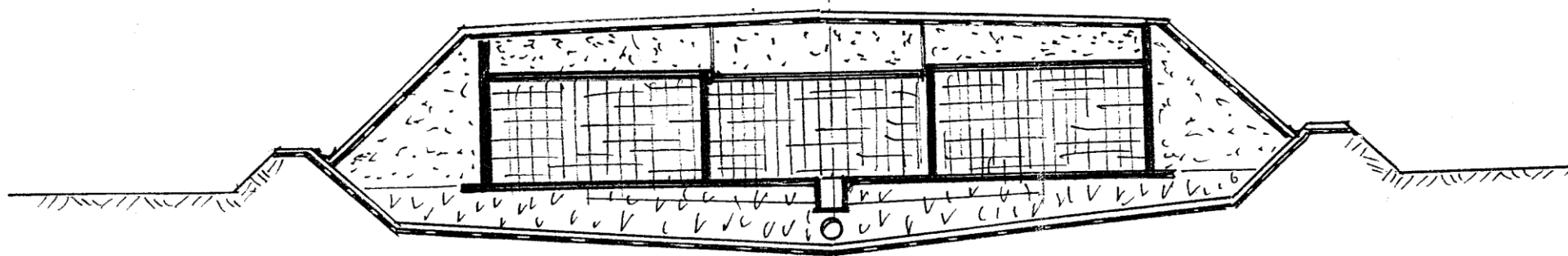
Z-d Ochrony Przed
Promieniowaniem IEA

Wnętrze KSOP w Różanie





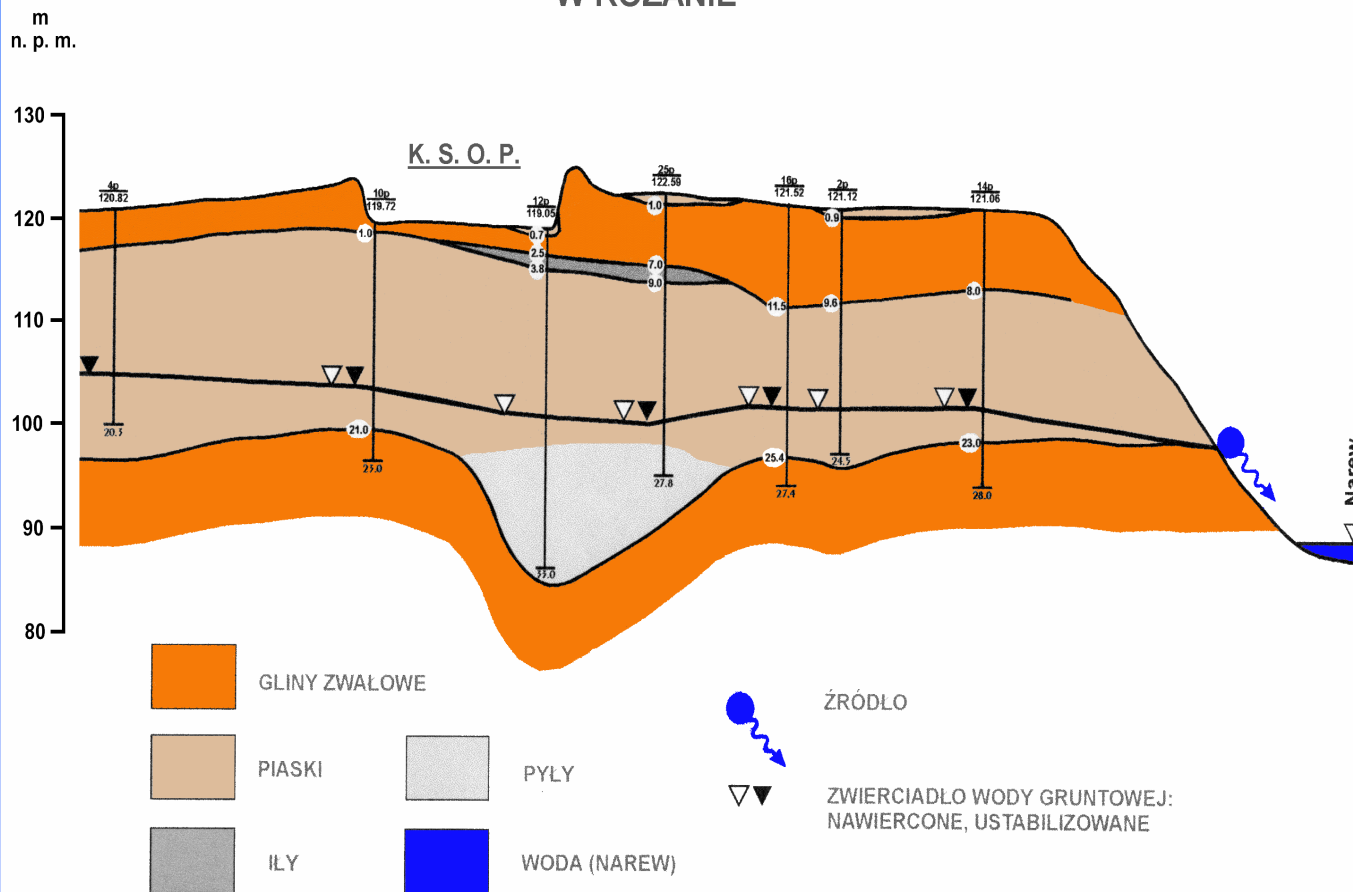
Widok komór w czasie eksploatacji



Widok komór wypełnionych

KSOP w Różanie - system hydrogeologiczny

PRZEKRÓJ PRZEZ SYSTEM HYDROGEOLOGICZNY TERENU KRAJOWEGO SKŁADOWISKA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH W RÓŻANIE



- Wody gruntowe 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.

Składowanie odpadów w Róźnie

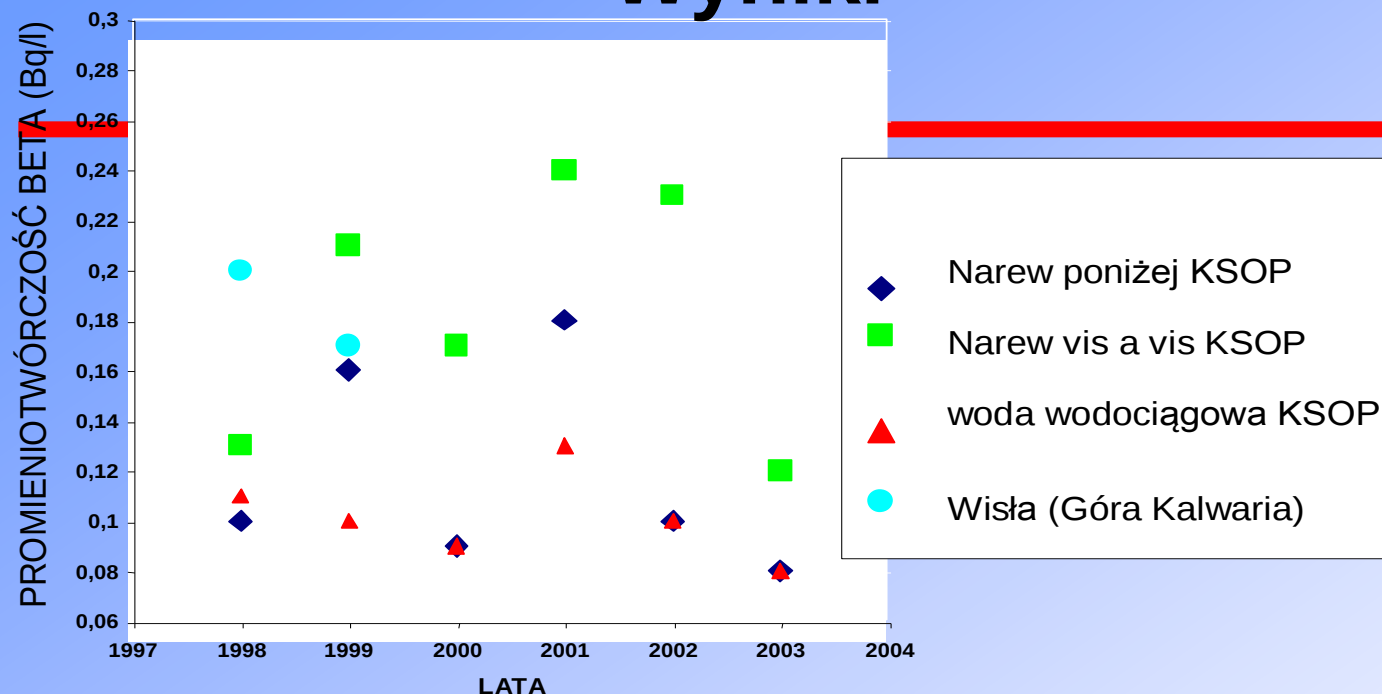
- Odpady składowuje się w budowlach betonowych, bunkrach oraz fosie. W tej ostatniej przechowuje się jedynie odpady nie zawierające długożyciowych nuklidów alfa promieniotwórczych. Dno i zbocza fosy pokryte są 20 cm warstwą betonu.
- Długożyciowe odpady alfa promieniotwórcze składowane są w betonowych budowlach fortu, komora po komorze, aż do całkowitego ich wypełnienia. Wypełnioną komorę zamyka się szczelnie lub zamurowuje. Odpady te, przed ostatecznym zamknięciem składowiska w Róźnie, będą przeniesione do składowiska docelowego, tzw. składowiska głębokiego.

Kontrola radiologiczna wokół składowiska

Kontrola radiologiczna obejmuje następujące punkty:

- gleba, trawa i zboża z otoczenia składowiska,
- woda gruntowa z odwiertów kontrolnych (piezometrów) umieszczonych na terenie i w otoczeniu składowiska,
- woda z Narwi,
- powietrze atmosferyczne (przy dwóch obiektach mierzone jest stężenie radonu),
- poziom promieniowania gamma na terenie i w otoczeniu składowiska.

Wyniki



Wyniki badania promieniotwórczości beta wody w latach 1997 - 2004

Pojemność i warunki radiologiczne Składowiska pozwalają na bezpieczne zapełnianie go odpadami jeszcze przez co najmniej 15-20 la

Wyniki pomiarów wskazują jednoznacznie, że istnienie Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych nie ma niekorzystnego wpływu na środowisko gminy Różan.

Gmina Różan ma jeden z najniższych wskaźników zapadalności na choroby nowotworowe.

Obiektywne badania stanu radiologicznego środowiska

Badania stanu radiologicznego środowiska, prowadzone są przez jednostki niezależne od Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych, a mianowicie:

- • Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych Instytutu Energii Atomowej
- • Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, powołane do wypełniania funkcji kontrolnych i nadzorczych na terenie całego kraju.
- • Państwowy Instytut Geologiczny

Przed rozpoczęciem składowania odpadów aktywnych trzeba sporządzić raport bezpieczeństwa, podobnie jak dla EJ, opisujący normalny stan pracy, wszystkie układy i elementy, ich możliwe awarie, błędy ludzkie, zjawiska geologiczne i ich skutki dla zdrowia ludności.

Istniejące składowiska w innych krajach

- Składowiska odpadów średnio i nisko aktywnych istnieją w wielu krajach.
- Beton wypełniający beczki zatrzymuje promieniowanie tak skutecznie, że można pracować z nimi bez dodatkowych osłon.
- Pozytywne doświadczenia z pracy składowisk – nigdzie nie powodują wzrostu zagrożenia radiologicznego, ani wzrostu zachorowalności na choroby nowotworowe wśród personelu lub ludności.
- Akceptacja ze strony ludności.

Odpady powstające w EJ – przykład z EJ Loviisa

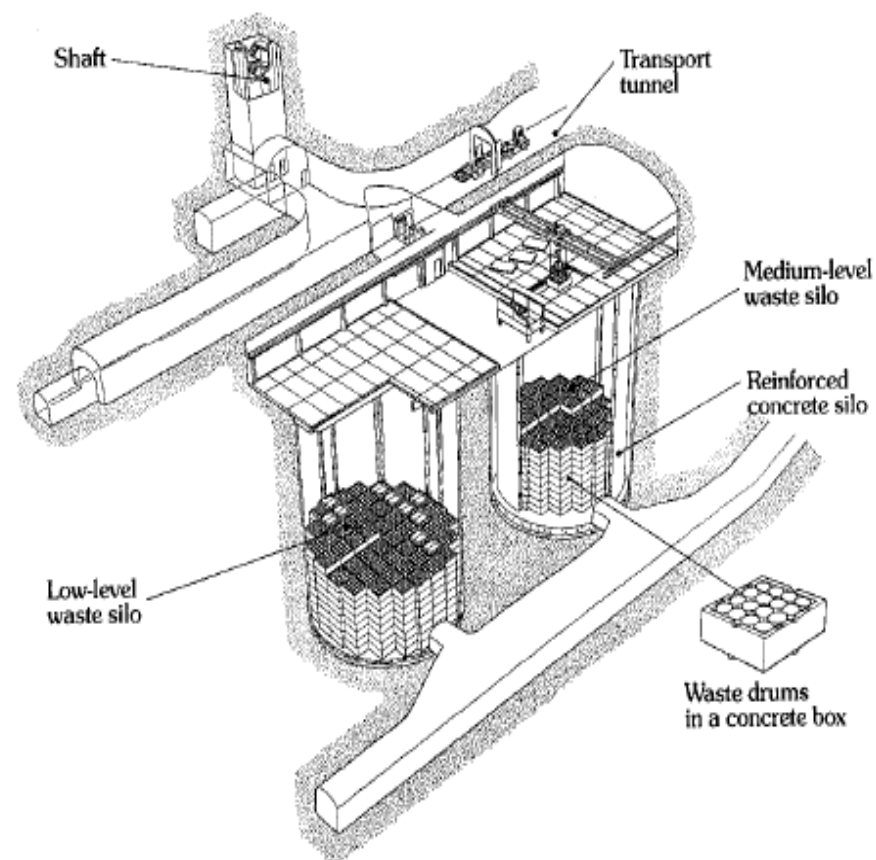
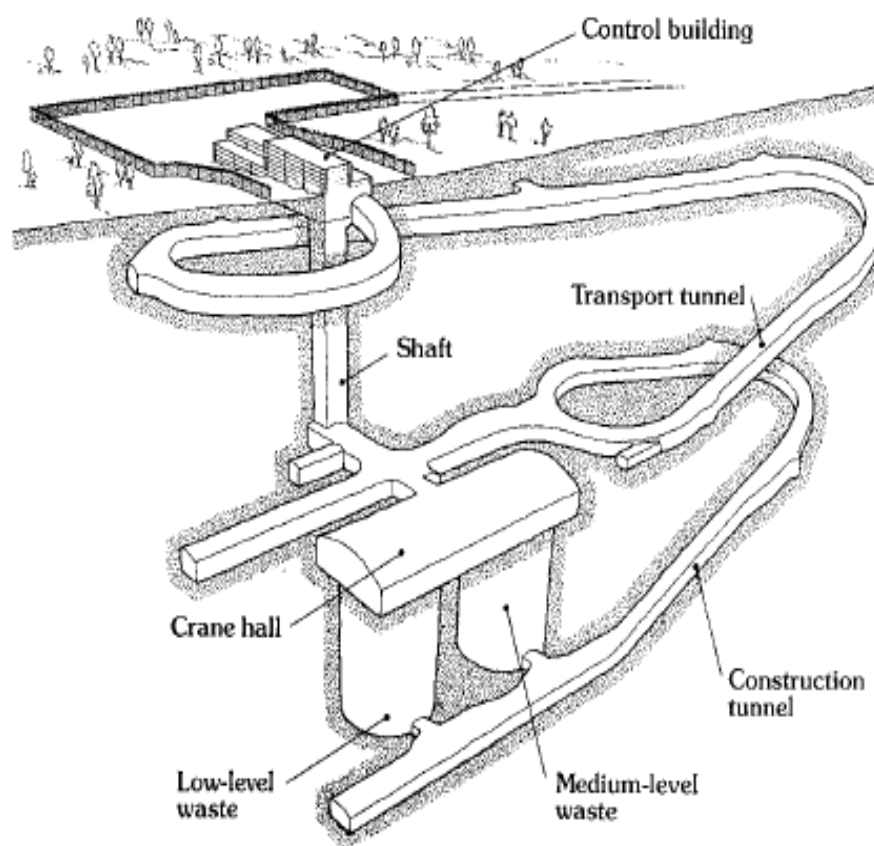


EJ Loviisa 2 reaktory WWER 440/213, zaczęły pracę w 1977 i 78 r.

Wszystkie rejony składowania odpadów radioaktywnych dostępne.

Woda obiegu chłodzenia kondensatorów turbin wypływająca z elektrowni nie zawiera produktów radioaktywnych.

Podziemne składowisko odpadów nisko/średnioaktywnych , w Olkiluoto w Finlandii



Składowisko odpadów promieniotwórczych Centre de la Manche.



Składowisko odpadów promieniotwórczych Centre de la Manche.



Ocena rzeczywistego zagrożenia ze strony odpadów radioaktywnych

W otaczającym nas świecie są izotopy promieniotwórcze uranu U, toru Th, Rb, K, C czy wodoru H - radionuklidy naturalne

Ile tych radionuklidów znajduje się w naszym najbliższym otoczeniu?

W ogródku o wymiarach 20 m x 20 m powierzchniowa warstwa gleby o grubości 1m waży około 600 t, i zawiera

(0,6 – 4,2) kg uranu (U),

(0,2 - 6,2) kg toru (Th) i

(600 – 16800) kg potasu (K), w tym tylko jego izotop ^{40}K jest promieniotwórczy i stanowi jedynie 0,0117% jego masy; na 1 tonę naturalnego K przypada więc 117 g izotopu ^{40}K . Metrowa warstwa gleby zawiera od 0,07 kg do 1,96 kg promieniotwórczego potasu.

Dawka od takiej warstwy gleby z naszego ogródka - Dawka Ogródkowa (DOG) – pochodzi więc od (1 – 12) kg naturalnych radionuklidów.

Dawka od mojej części odpadów w KSOP

W całej Polsce zamieszkuje około 38 milionów osób, więc gdybyśmy zakopali w ogródku naszą „indywidualną”, $1/38\ 000\ 000$, część odpadów nisko- i średnioaktywnych (innych w Polsce nie mamy), zdeponowanych w ciągu roku w KSOP-Różan, to przybędzie nam $90\ 000\ \text{kg}/38\ 000\ 000$, a więc około 2,5 g - prawda, jak to niewiele w porównaniu z masą naturalnych radionuklidów w naszym ogródku?

Zakopując w ogródku (metr pod powierzchnią) odpady niskoaktywne na nas przypadające, podnieśliśmy aktywność warstwy zaledwie o $1/32000$ część DOG, a przecież aktywność tych odpadów zanika jeszcze w czasie.

Gdyby każdy człowiek zakopał w swym ogródku także krótkożyciowe odpady średnioaktywne na niego przypadające, zwiększyłby aktywność ogródka o nie więcej niż $1/4800$ część DOG, a aktywność i tych odpadów zanika w czasie.

Narażenie od odpadów średnio i wysokoaktywnych

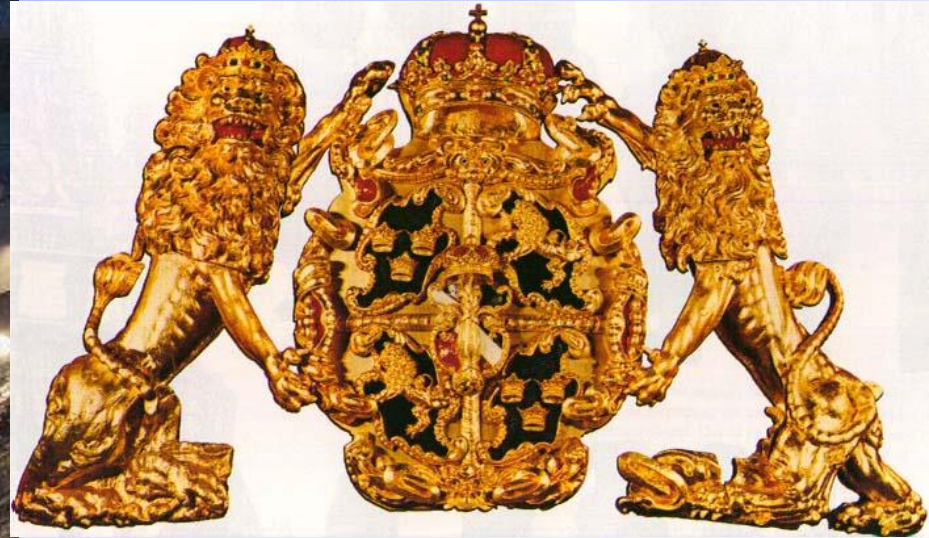
Długożyciowe odpady średnioaktywne, bardzo stężone, należałoby zakopywać już w głębsze pokłady ogródka, np. na głębokość 300 m. Podwyższyłyby one ryzyko, ale zaledwie o 1/30 dawki pochodzącej w naturalny sposób od 300-metrowej warstwy ziemi.

Dopiero umieszczenie na tej głębokości odpadów wysokoaktywnych z energetyki jądrowej przypadających na człowieka np. w W, Brytanii stworzyłoby ryzyko większe niż aktywność naturalna. Z tego też względu - choć i tu czynnik zaniku aktywności odpadów w miarę upływu czasu gra na naszą korzyść - składowanie odpadów wysokoaktywnych podlega szczególnym technologiom i rygorom jeszcze większej ostrożności niż w dwóch poprzednich przypadkach.

Analiza wskazuje więc, że sama natura napromieniowuje nas znacznie większą dawką niż produkowane przez człowieka odpady promieniotwórcze.

A jak długo pozostaną szczelne pojemniki z odpadami?

Vasa – najpotężniejszy okręt wojenny na Bałtyku. Co pozostało po 333 latach pod wodą ?





Wśród obiektów wydobytych były między wielu innymi baryłki piwa, ciągle jeszcze zawierające piwo!



Jeśli zwykłe beczki od piwa pozostały szczelne po 300 latach w słonej wodzie na dnie morza, to czy nie powinniśmy zaufać inżynierom XXI wieku, że potrafią zrobić pojemniki na odpady przechowywane w starannie wybranych, suchych miejscach, które **wytrzymają równie długo?**

A co zrobić z EJ po okresie pracy? Czy można ją zlikwidować?

- **Przykład praktyczny: Demontaż EJ Maine Yankee**

Łatwe: usunięcie głównych urządzeń jądrowych – zbiornika ciśnieniowego reaktora i 3 wytwornic pary. Wyjęto je w całości.

Zbiornik reaktora i urządzenia wewnętrzne zostały pocięte pod wodą zdalnie sterowanymi narzędziami. (Technologia cięcia Framatome ANP).

Kosz rdzenia reaktora wypełniono cementem, aby mieć pewność, że w ciągu kilkuset lat części wewnętrzne nie utracą stabilności. Zbiornik podniesiono i przeniesiono na barkę do przewozu.

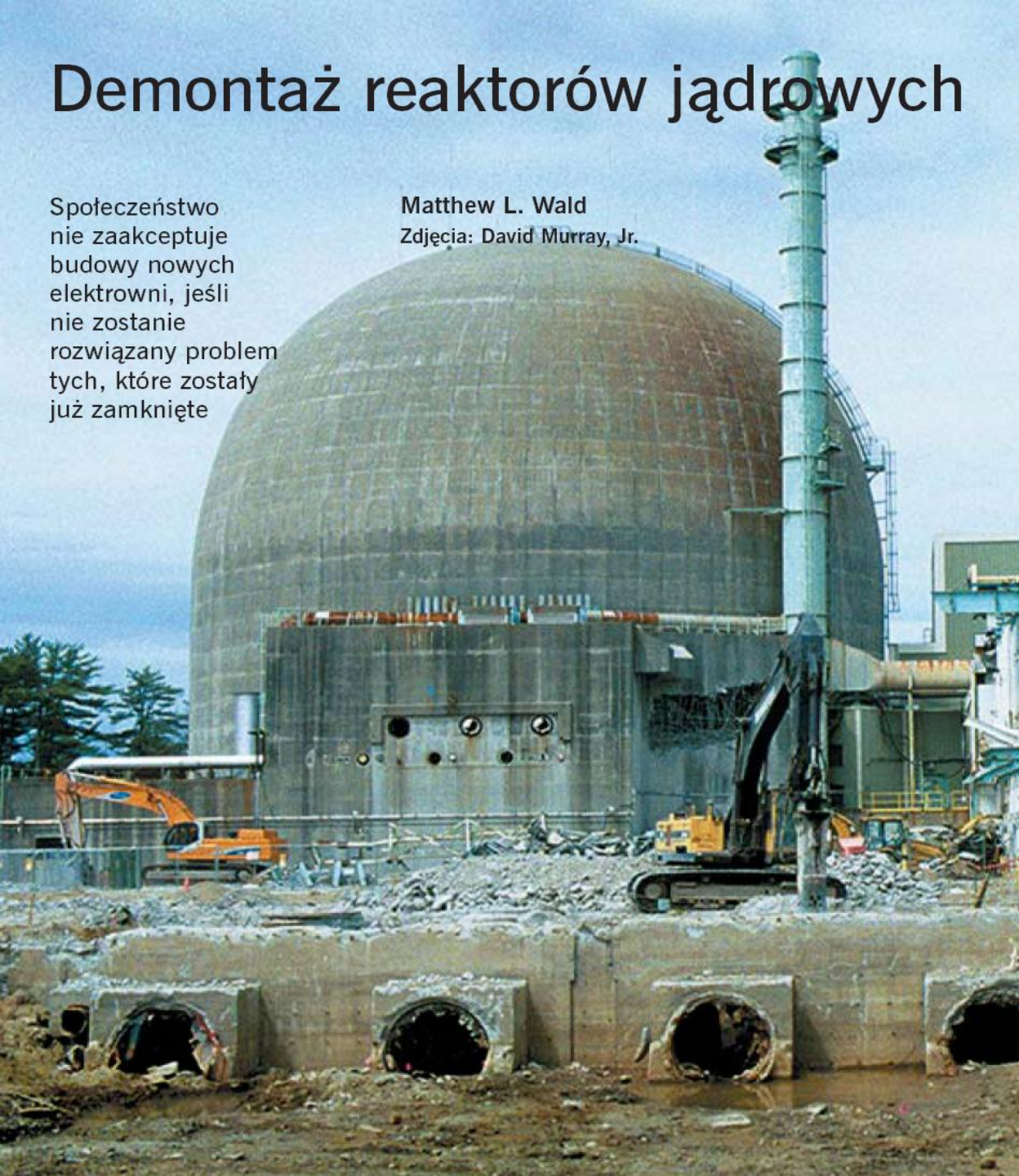
Elementy wewnętrzne reaktora zostaną ostatecznie przewiezione tam, gdzie będzie składowane paliwo – Yucca Mountain.

Obecnie czekają one w 4 potężnych pojemnikach ze stali i betonu, razem z 60 innymi pojemnikami wypełnionymi zużytym paliwem.

Demontaż reaktorów jądrowych

Społeczeństwo
nie zaakceptuje
budowy nowych
elektrowni, jeśli
nie zostanie
rozwiązany problem
tych, które zostały
już zamknięte

Matthew L. Wald
Zdjęcia: David Murray, Jr.



Z powierzchni betonu
wokół zbiornika
ciśnieniowego reaktora
usunięto pneumatycznie
górną warstwę, by pozbyć
się skażeń.

Pętle obiegu pierwotnego
przemyto chemicznie w celu
usunięcia osadów
radioaktywnych. Ich
elementy przesłano na
składowiska odpadów.

Wbrew pozorom, **to było**
łatwe.

Najtrudniejszy problem: odróżnić radioaktywność odpadów od tła naturalnego

Bardziej złożona jest likwidacja reszty EJ. Wykonano 14 300 pomiarów, w tym połowę na obszarach, gdzie nie spodziewano się skażeń.

Dopuszczone przez przepisy federalne promieniowanie resztkowe jest tak małe, że trzeba było sprawdzić, jakie jest promieniowanie tła, aby uniknąć usuwania radionuklidów naturalnych. (Pobór próbek)

Inna możliwość: poczekać.

Okres $T_{1/2}$ Co 60 wynosi tylko 5.27 roku.

Teoretycznie można by po prostu poczekać: po 21 latach 15/16 Co-60 znikłoby w sposób naturalny. Powód do pośpiechu – obawa że normy zostaną jeszcze zaostrzone i że zabraknie składowisk odpadów.

Wymagania przepisów USA

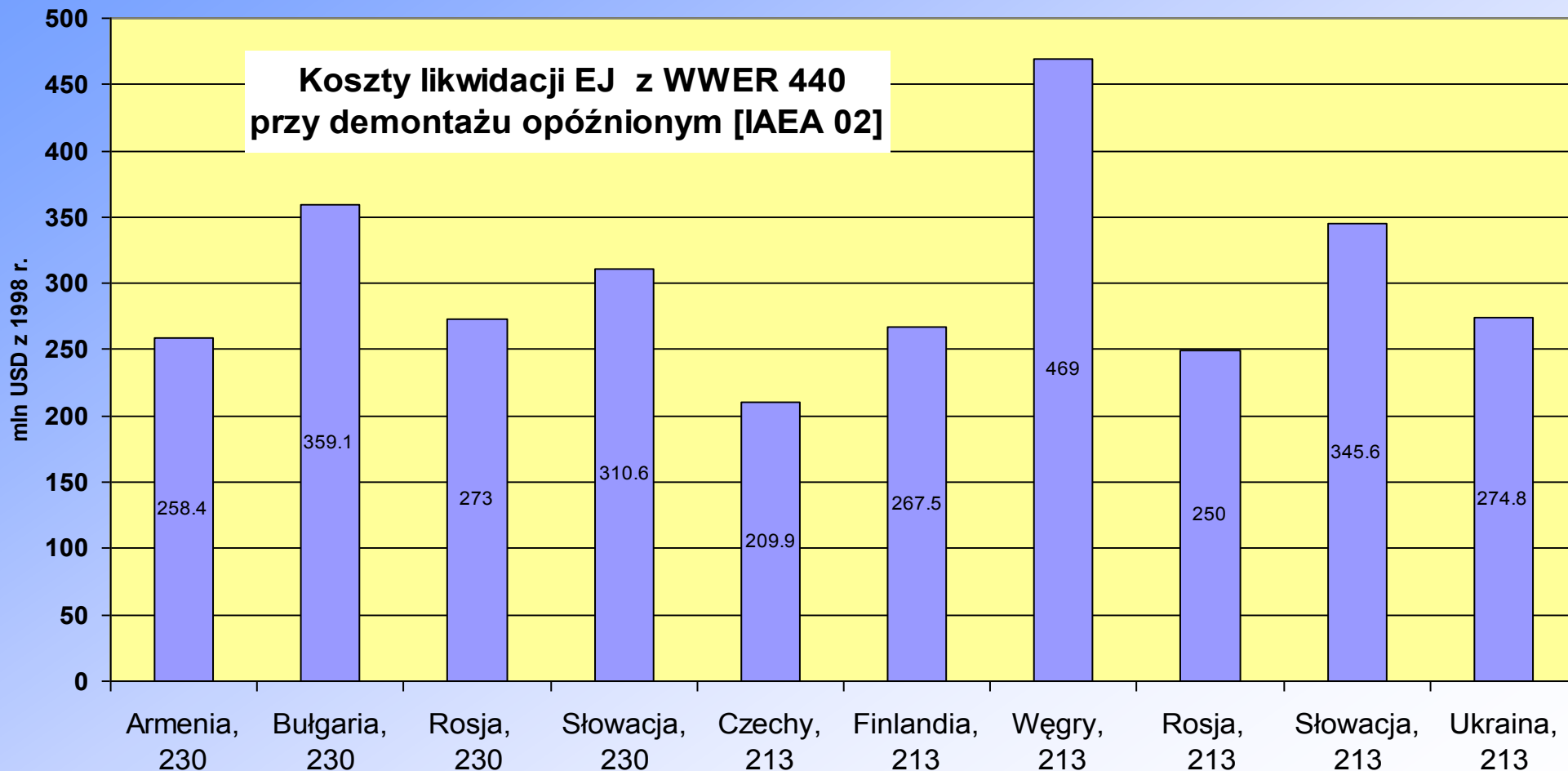
Normy NRC mówią o obniżeniu dodatkowej dawki promieniowania (powyżej promieniowania tła) otrzymywanej przez przeciętnego członka najbardziej narażonej grupy „*do wielkości tak małej jak to praktycznie możliwe*”, ale nie większej niż 0.25 mSv rocznie. Agencja Ochrony Środowiska (EPA – Environmental Protection Agency) wymaga 0.15 mSv/rok, w tym nie więcej niż 0.04 mSv/rok od wód gruntowych.

Obecnie inicjatywę ustawodawczą przejmują poszczególne stany.

W roku 2000 w stanie Maine zredukowano dopuszczalną dawkę do 0.1 mSv/rok, w tym nie więcej niż 0.04 mSv od wód gruntowych. W innych stanach zmiany przepisów są w drodze.

Gdy w grę wchodzi protesty przeciw promieniowaniu, żadne normy nie są dość surowe. Jedynym akceptowalnym przez organizacje antynuklearne poziomem jest zero. Nie jest to rozsądne.

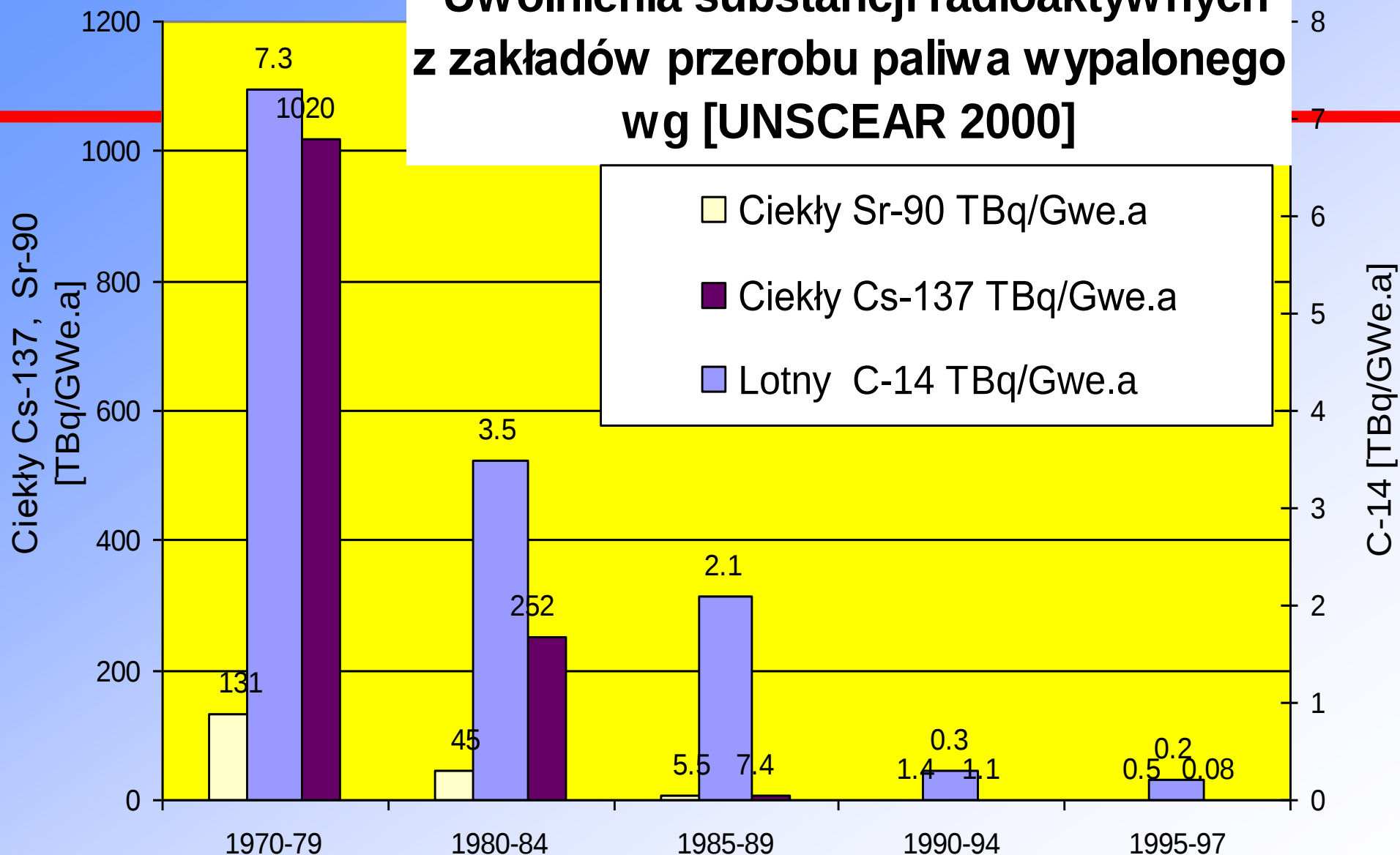
A ile będzie kosztowała likwidacja EJ z reaktorami 2xWWER 440?



W Polsce mamy już za sobą demontaż reaktora EWA

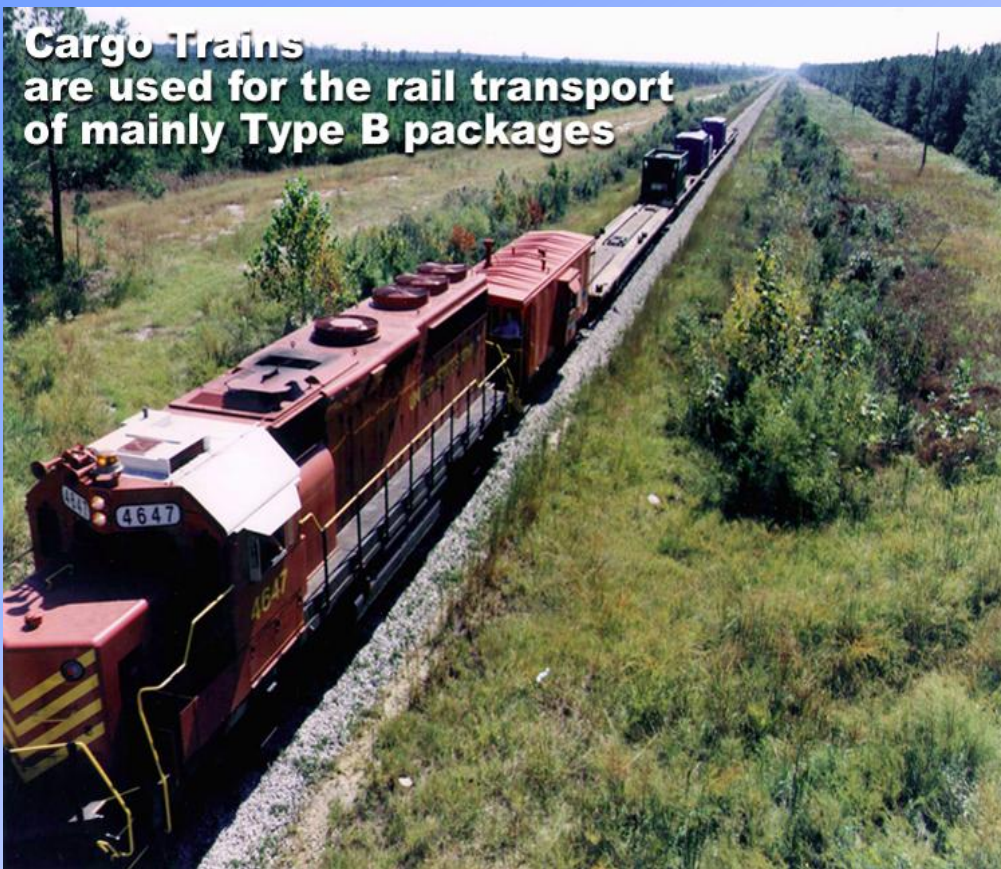
- Reaktor doświadczalny EWA zaczął pracę na mocy 2 MW
- Następnie polscy inżynierowie podnosili jego moc do 4 MW, do 8 MW i na koniec do 10 MW.
- Reaktor EWA pracował jak zegarek, od poniedziałku do piątku w każdym tygodniu.
- Po 35 latach pracy został ostatecznie wyłączony
- Paliwo wywieziono, obiegi zdemontowano , całość zdekontaminowano – likwidacja reaktora została pomyślnie wykonana przez IEA Swierk.
- Potężne osłony betonowe reaktora można będzie wykorzystać do przechowywania wypalonego paliwa z obu reaktorów doświadczalnych w Swierku

Uwolnienia substancji radioaktywnych z zakładów przerobu paliwa wypalonego wg [UNSCEAR 2000]



Transport odpadów promieniotwórczych

**Cargo Trains
are used for the rail transport
of mainly Type B packages**



- Ulubiona okazja do protestów antynuklearnych – przykuwanie się łańcuchami do szyn i zbiegowiska niby to obrońców przyrody to stały element krajobrazu towarzyszącego przewozom.
- A prasa pisze o „świecących pociągach”...
- I Greenpeace alarmuje- „koło Twego domu będą przejeżdżały transporty radioaktywne...”
- Czy rzeczywiście są one groźne?

Do transportu wypalonego paliwa stosuje się pojemniki typu B – odporne nawet na najcięższe awarie

Sandia National Laboratories Crash Test



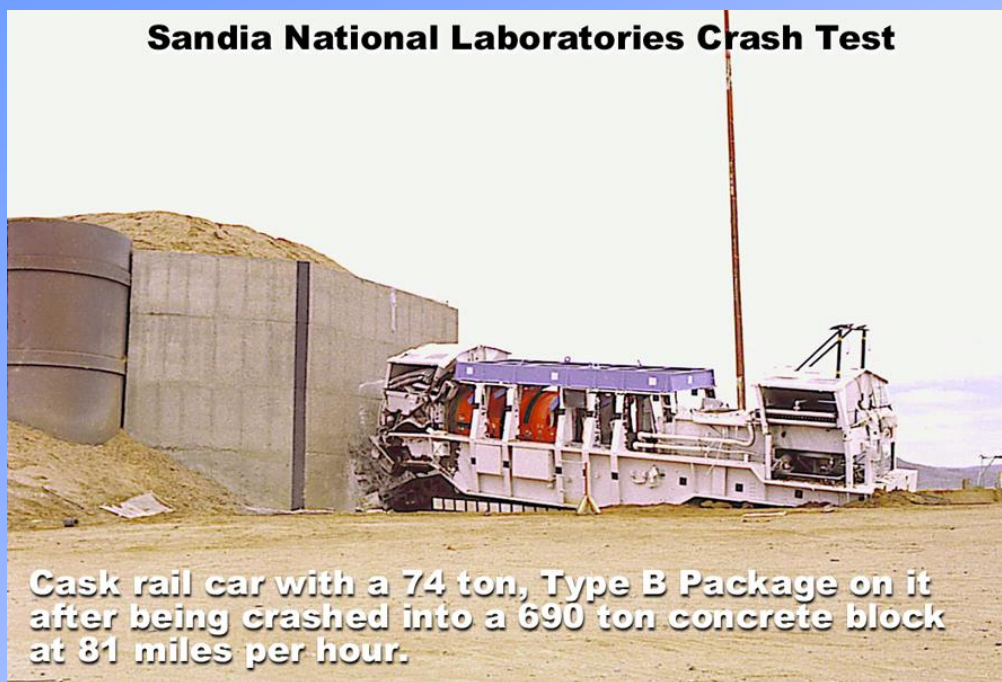
Cask rail car with a 74 ton, Type B Package on it crashing into a 690 ton concrete block at 81 miles per hour.

Testy dla pojemników typu B obejmują zderzenia pociągów, upadek z 9 m, uderzenie w żelazny pręt, pożar przez 30 minut, zatopienie w wodzie - wszystkie przy parametrach ekstremalnych, cięższych niż możliwe w praktyce.

I po tych wszystkich kolejnych próbach pojemniki muszą pozostać szczelne i zapewniać dobrą osłonę.

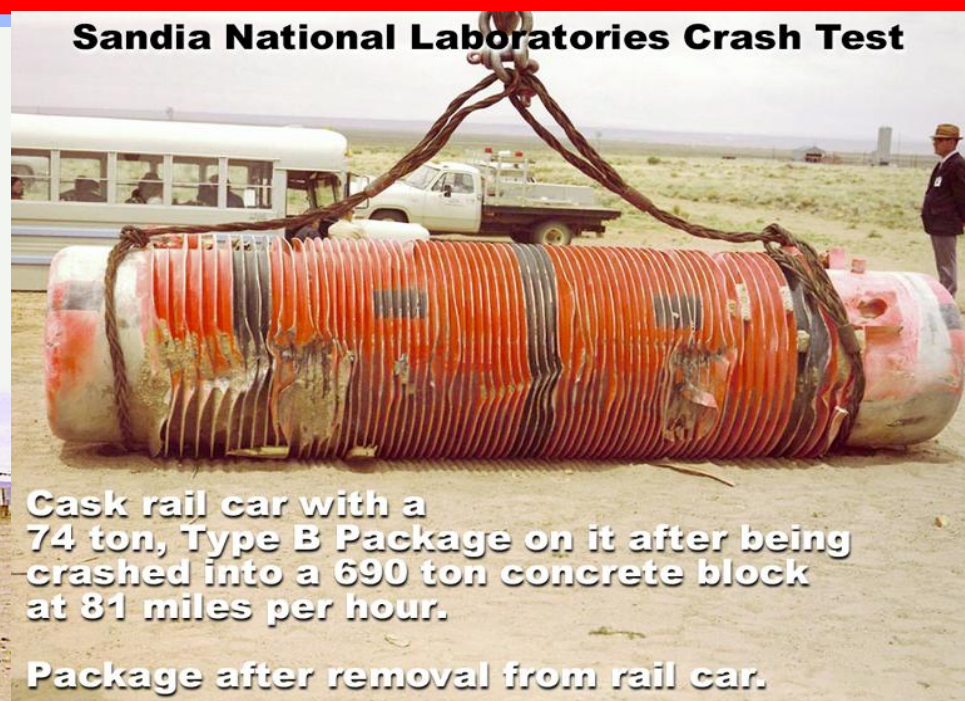
Skutki testu zderzenia pociągów

Sandia National Laboratories Crash Test



Cask rail car with a 74 ton, Type B Package on it after being crashed into a 690 ton concrete block at 81 miles per hour.

Sandia National Laboratories Crash Test



Cask rail car with a 74 ton, Type B Package on it after being crashed into a 690 ton concrete block at 81 miles per hour.

Package after removal from rail car.

Skutki zderzenia przy prędkości 130 km/h - pociąg zniszczony, ale pojemnik zachował szczelność i kształt, odkształcenia są niewielkie. A przecież pociągi z paliwem wypalonym jadą znacznie wolniej.

Inne testy pojemników do przewozu odpadów radioaktywnych

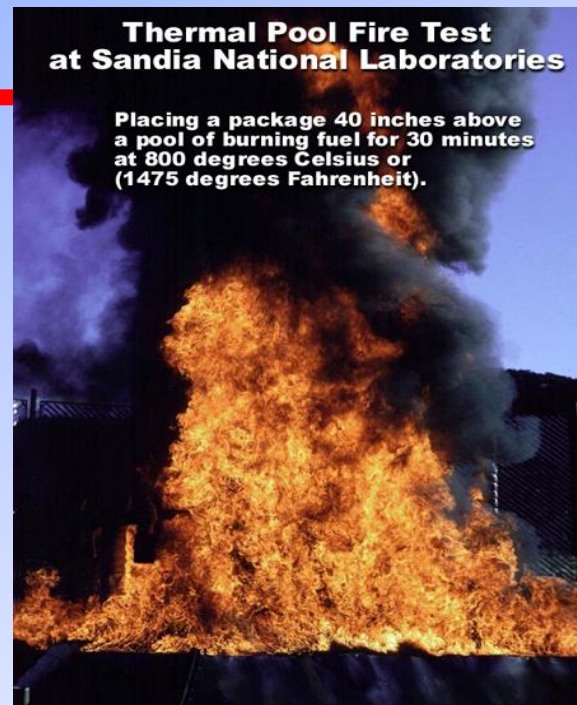
Sandia National Laboratories Crash Test



A flatbed semi-trailer carrying a 22 ton Type B Package on it, after being crashed into a 690 ton concrete block at 60 miles per hour.

Testy zderzeń wykonuje się także dla transportu samochodowego
100 km /h

Thermal Pool Fire Test at Sandia National Laboratories



Placing a package 40 inches above a pool of burning fuel for 30 minutes at 800 degrees Celsius or (1475 degrees Fahrenheit).

Test pożaru - pojemnik musi wytrzymać
pożar 30 minut bez utraty szczelności. Test
wykonuje się przez 90 minut. Temperatura
powierzchni pojemnika - 750 oC. Ale
temperatura wewnątrz pojemnika – poniżej
150 oC, pręty paliwowe pozostają
nienaruszone.

Preparing for a Free Drop Test at Sandia National Laboratories

**Free dropping a
Type B Package
30 feet onto an
Unyielding Target.**

**The speed on impact
is 44 feet per second
or 30 miles per hour.**

**An unyielding target
forces all of the
deformation to be
in the package, and
none in the target.**

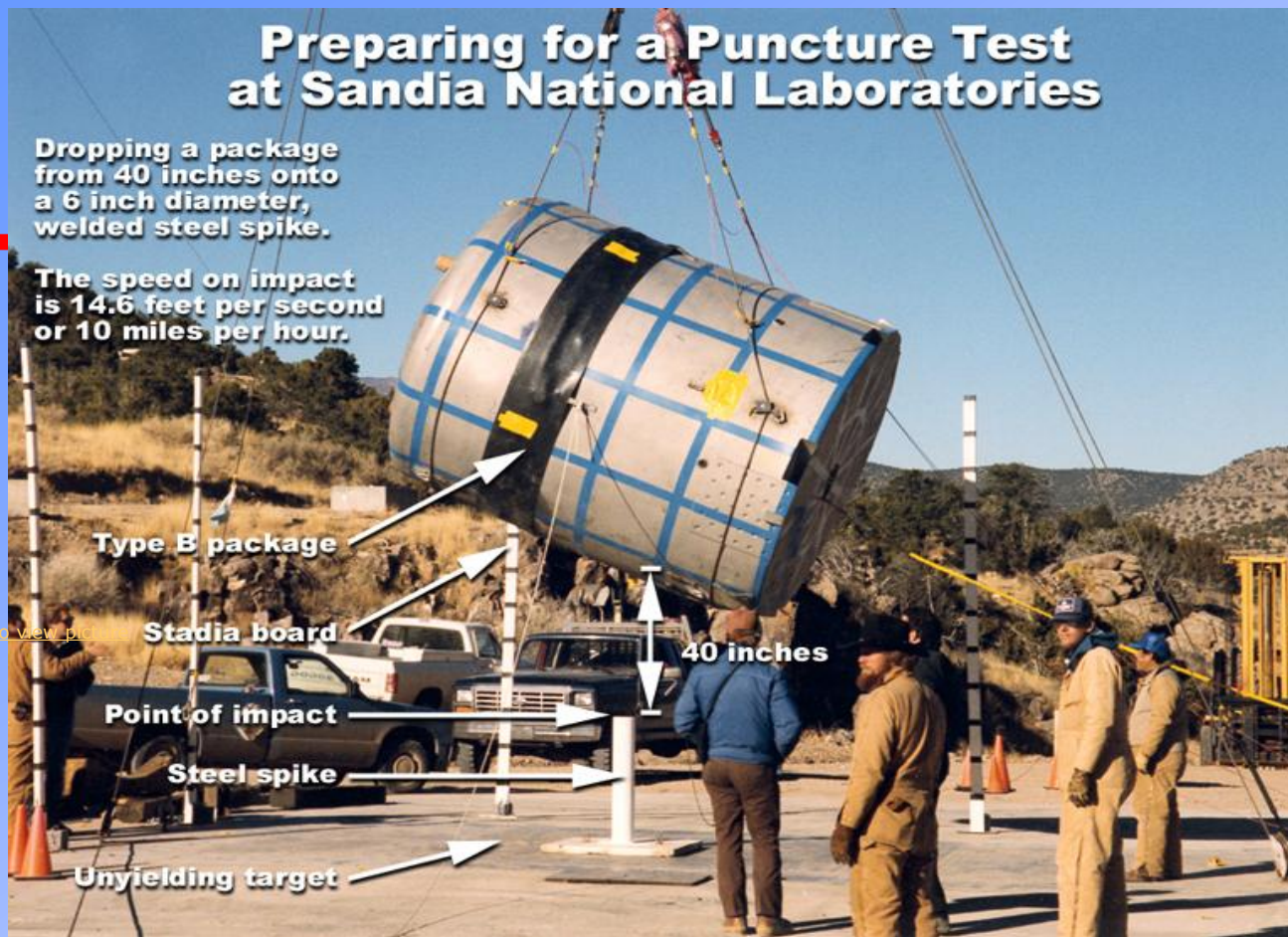


Pojemnik musi też wytrzymać upadek z 9 m.
i test dziurawienia – wbicie żelaznego pręta w bok pojemnika
Pojemnik jest odkształcony, ale nadal szczelny.
Na zakończenie wykonuje się test zatopienia pod wodą.

Preparing for a Puncture Test at Sandia National Laboratories

Dropping a package from 40 inches onto a 6 inch diameter, welded steel spike.

The speed on impact is 14.6 feet per second or 10 miles per hour.



Skutki zderzenia pociągów w 1997 r. koło Della, Kansas, USA

Test dziurawienia siłą 4 mln N można porównać ze zderzeniem pociągów w 1997 r. koło Della, Kansas, USA. Waga jednego z pociągów wynosiła 5347 ton, długość 2 km, waga drugiego 3925 ton, długość 1800 m. Zderzenie spowodowało śmierć jednego maszynisty i rany drugiego, pożar i ewakuację 1500 ludzi. Siła zderzenia – 2 mln N.

Preparing for an Immersion Test at Sandia National Laboratories

Placing a packaging in a pressure vessel simulating 50 feet under water for 8 hours.

Fissile materia packagings are also immersed under 3 feet of water for 8 hours.

This regulatory test is performed sequentially after the "Hypothetical Accident Conditions" 1 through 4.



Próba zatopienia wykonywana jest po wszystkich kolejnych testach symulujących hipotetyczne ciężkie awarie. Obejmuje ona zatopienie pojemnika na głębokości 17 m przez 8 godzin, symulowane przez umieszczenie go w zbiorniku pod ciśnieniem. Opakowania z materiałami rozszczepialnymi umieszcza się ponadto pod wodą na głębokości 1 m przez 8 godzin.

Transport odpadów radioaktywnych jest bezpieczny

- Materiały radioaktywne przewozi się już ponad 50 lat.
- Co roku przewozi się na świecie 300 milionów ładunków materiałów radioaktywnych
- Większość ładunków przeznaczona jest do szpitali, inne do przemysłu, laboratoriów naukowych i EJ.
- Około 1% to materiały wysokoaktywne.
- Nikt nie stracił życia ani zdrowia wskutek uwolnień lub promieniowania przewożonych materiałów radioaktywnych.
- **Inne rodzaje transportu mogą czerpać wzór z bezpieczeństwa przewozu odpadów i materiałów radioaktywnych.**