

Wydział Fizyki UW

Podstawy bezpieczeństwa energetyki jądrowej, 2018

ODPADY PROMIENIOTWÓRCZE Z REAKTORÓW JĄDROWYCH

Część II

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

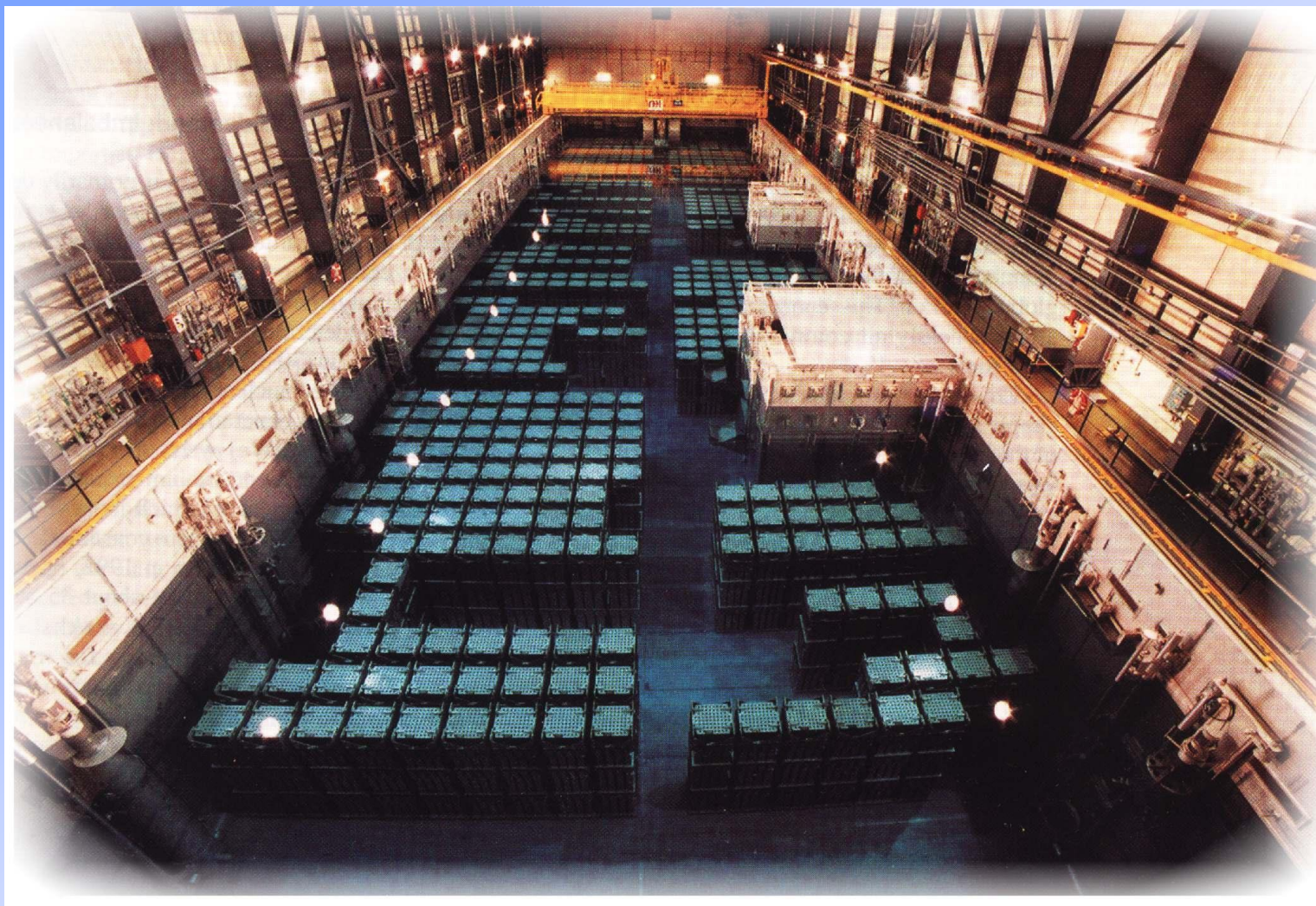
Plan wykładu

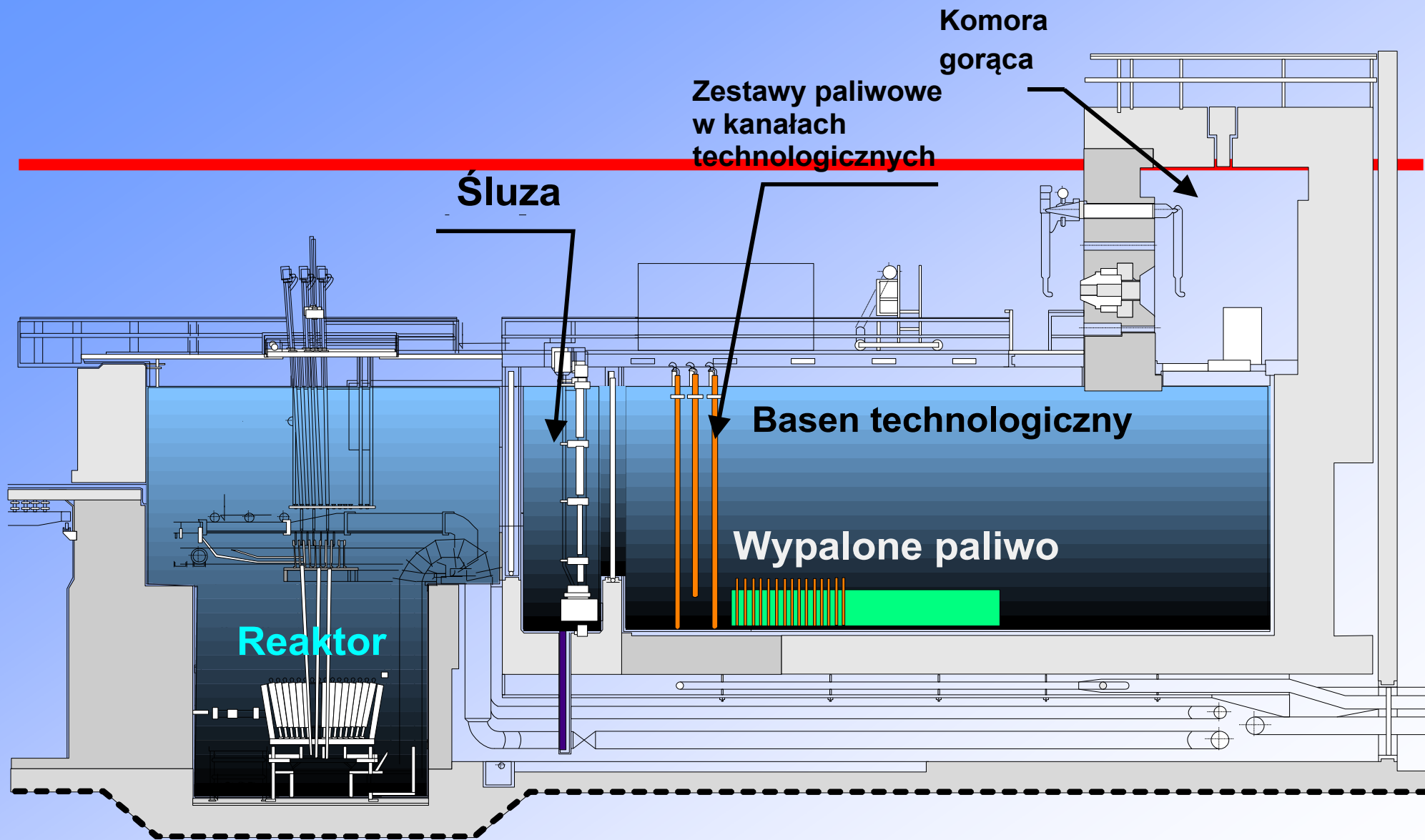
- Polskie doświadczenie z paliwem wypalonym
- Recykлизacja paliwa wypalonego z EJ
- Zanik radiotoksyczności w funkcji czasu
- Zalety recyklingu
- Awarie w zakładach przerobu paliwa wypalonego
- Ilości odpadów z elektrowni węglowych i jądrowych
- Składowiska głębokie w Szwecji i Finlandii
- Argument przeciw EJ – pluton
- Reaktory w Oklo – produkowały Pu przed 2 mld lat, a ich odpady pozostały na miejscu.

Polskie doświadczenie w składowaniu paliwa reaktorowego

- Reaktor EWA- pracował od 1958 roku do 1998 - setki zestawów paliwowych różnych typów, przechowywane w Swierku, w przechowalniku paliwa wypalonego 19A
- Reaktor MARIA – pracuje od 1973 r. potężne zestawy paliwowe, o obciążeniu cieplnym znacznie większym niż w EJ i o większej aktywności właściwej.
- Przechowywane w basenie reaktora MARIA, w 19A, a docelowo- na sucho w powietrzu.
- Technologia kapsułowania paliwa opanowana i sprawdzona.

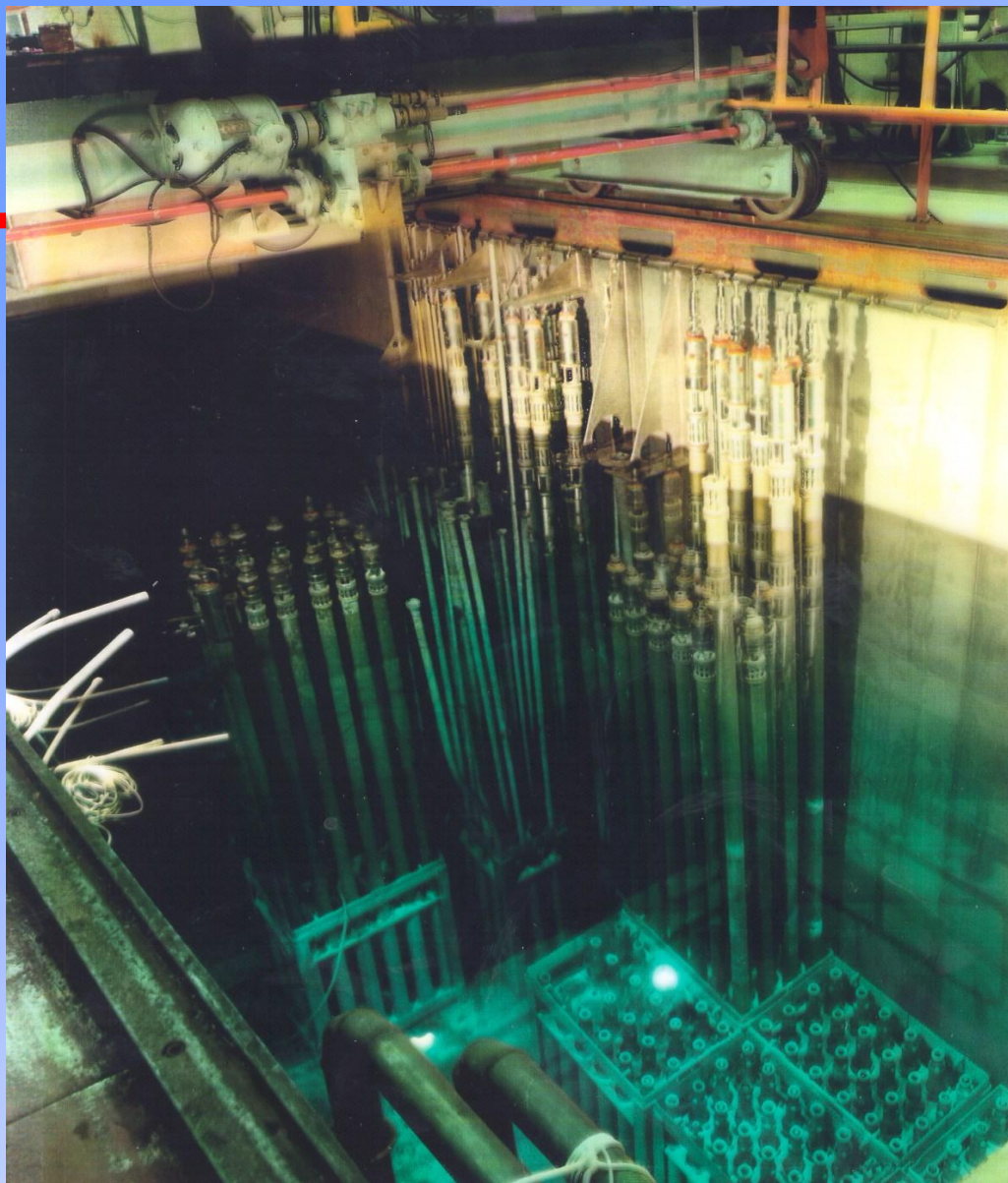
Przechowalnik wypalonego paliwa





Reaktor MARIA z basenem technologicznym i wypalonym paliwem.

Basen z wypalonym paliwem w reaktorze MARIA



· Szczelność paliwa kontroluje się systematycznie zasysając wodę z nad zestawów paliwowych. Po ostudzeniu w basenie wodnym (3 lata) paliwo jest kapsułowane i przechowywane w powietrzu na sucho.

Technologię kapsułowania opracował Instytut Energii Atomowej w Swierku



Zestaw paliwowy wkładany do kapsuły



Spawanie kapsuły wypełnionej helem

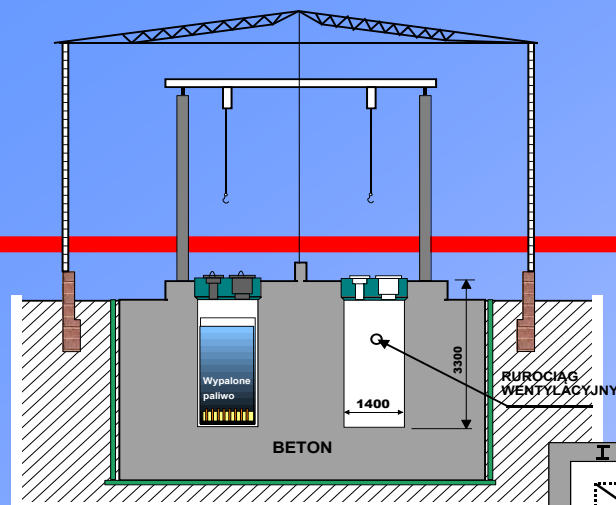


Kapsuła z zestawem paliwowym

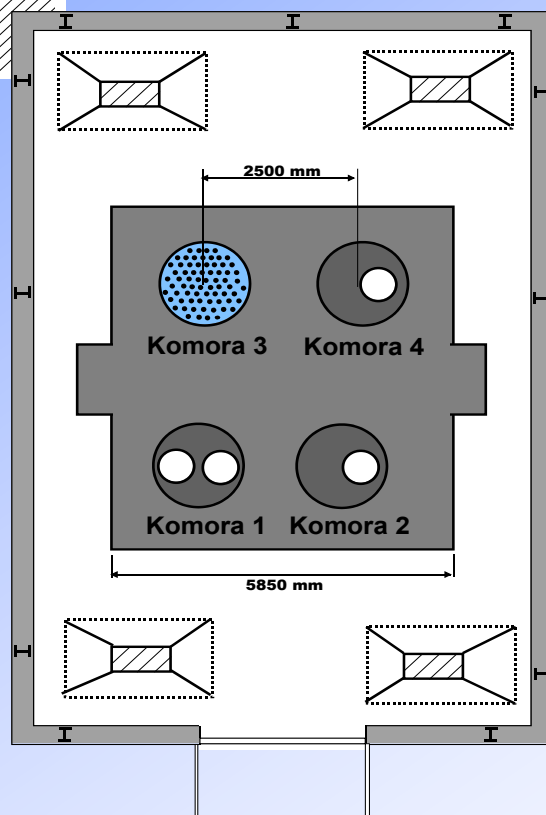
Zamykanie wypalonych i ostudzonych zestawów paliwowych reaktora MARIA w szczelne kapsuły w atmosferze helowej do długotrwałego przechowywania w powietrzu

Zamknięto już 144 zestawy (około 50%) i połowę z nich wywieziono do przechowalnika paliwa 19A

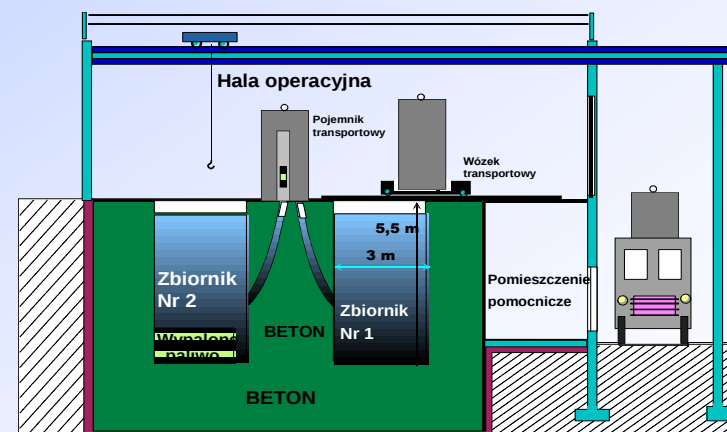
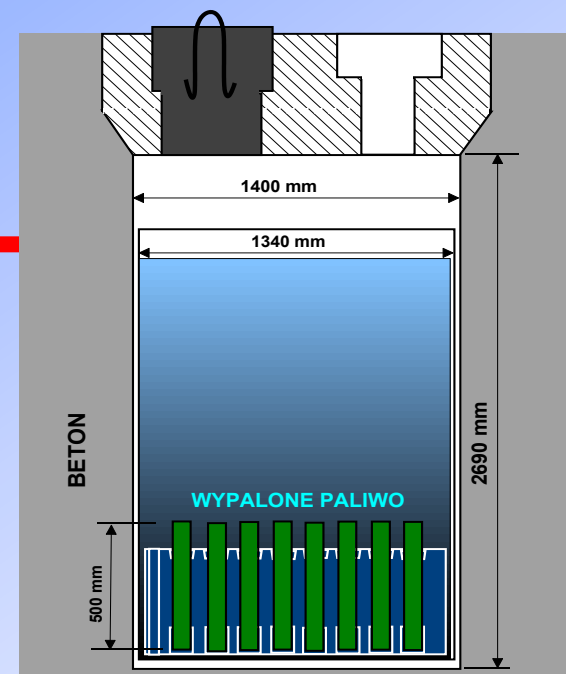
**Przekrój pionowy
komory
przechowawczej
wypalonego paliwa w
obiekcie 19.**



**Przekrój pionowy
przechowalnika
wypalonego paliwa
Ek-10 (obiekt Nr 19)**



**Rozmieszczenie komór
przechowawczych
wypalonego paliwa w
obiekcie**



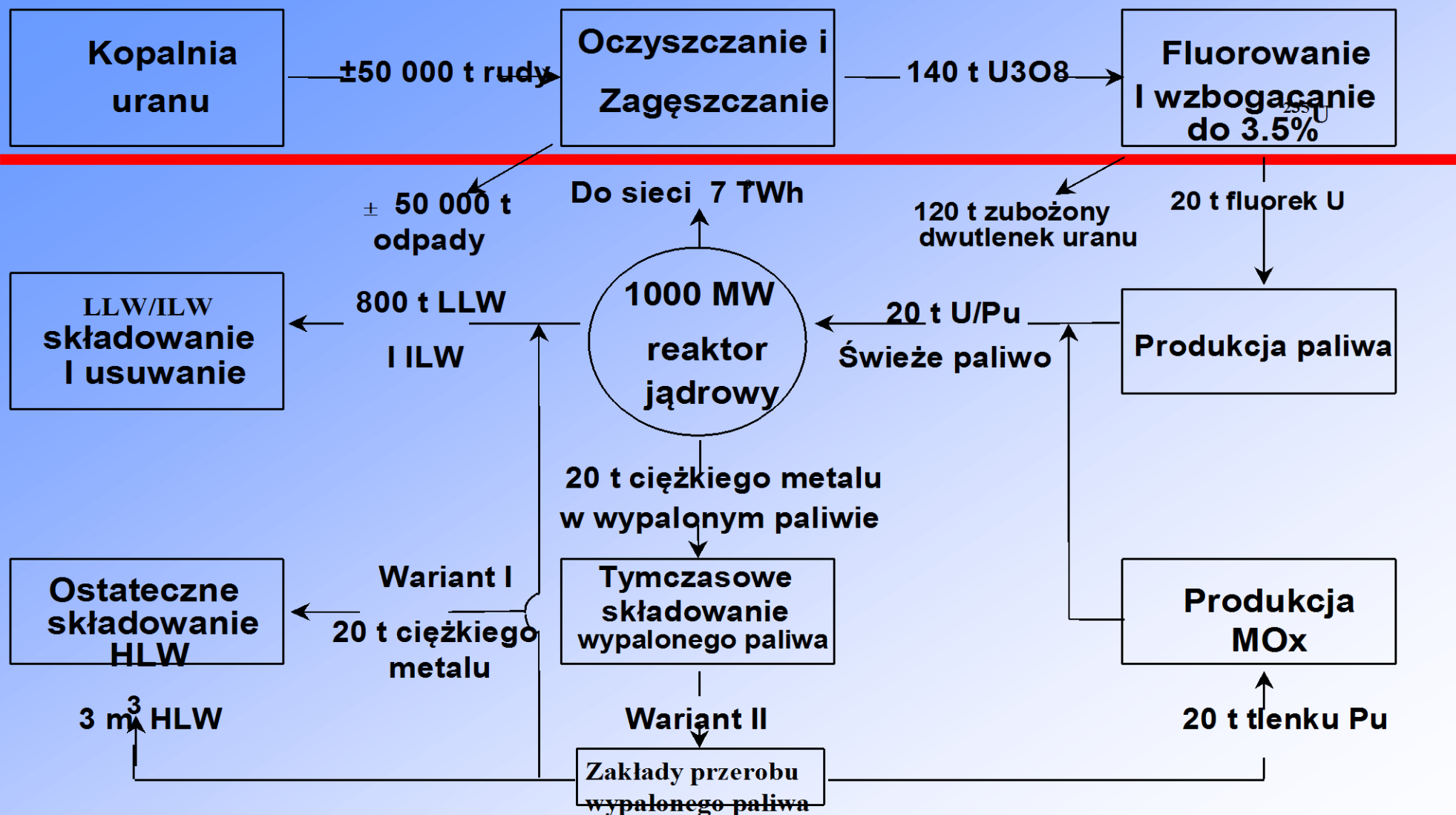
**Przekrój pionowy
przechowalnika wypalonego
paliwa WWR-SM i WWR-
M2 (obiekt 19A).**

Postępowanie z wypalonym paliwem z reaktora

Wypalone paliwo jądrowe przechowuje się z reguły przez jakiś czas (kilka do kilkadziesiąt lat) bezpośrednio przy reaktorze w basenach przechowawczych. W tym czasie zanika aktywność większości izotopów krótkożyciowych, a ponadto woda odbiera ciepło. Tak więc zużyte paliwo schładza się zarówno termicznie, jak i w znaczeniu radiologicznym.

Dalszy los zależy od możliwości techniczno-finansowych i decyzji organów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo radiologiczne danego kraju. Paliwo takie albo przetwarza się, poddając je procesowi *recyklicacji*, albo przygotowuje do ostatecznego składowania.

Słowo „ostateczny” nie jest tu jednak w pełni adekwatne, gdyż obecnie myśli się nad technikami, które pozwoliłyby w znaczący sposób zmniejszyć i tak już stosunkowo małe zagrożenie radiologiczne związane ze składowaniem tego paliwa

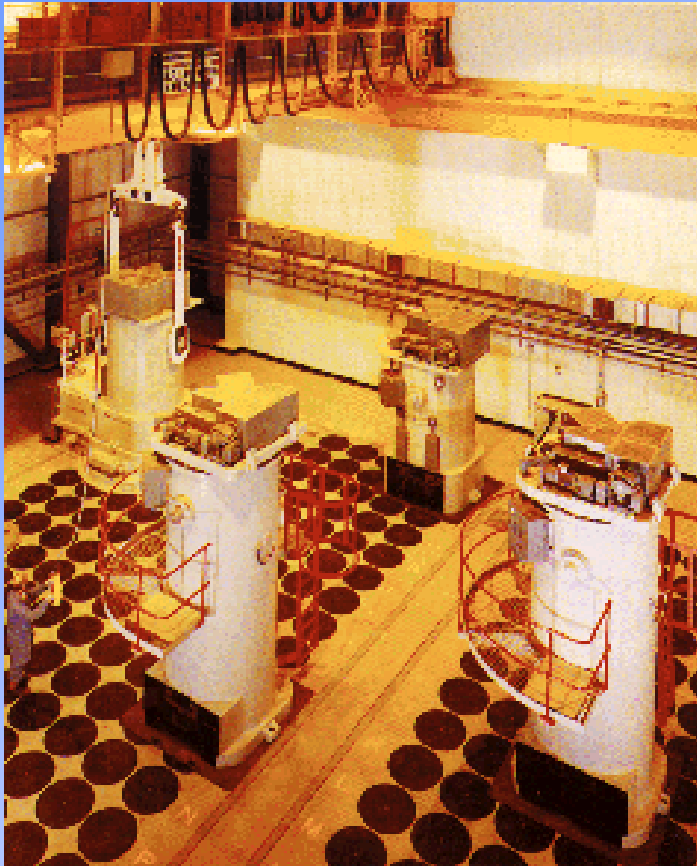


Cykl paliwowy otwarty (wariant I) i zamknięty (wariant II)

Efekty recykliczacji paliwa wypalonego

- Podczas recykliczacji dokonuje się obróbki radiochemicznej, podczas której wydobywa się przede wszystkim dwa izotopy rozszczepialne, a mianowicie ^{235}U i ^{239}Pu .
- Z izotopów tych, a precyzyjniej z tlenków tych izotopów (UO_2 i PuO_2) można wyprodukować świeże paliwo (typu MOX -. *Mixed Oxides*).
- Paliwo MOX produkowane jest obecnie w Europie w 5 instalacjach, i może być użyte w 35 pracujących w Europie reaktorach (do rdzeni tych reaktorów można załadować około 20-50% paliwa MOX).
- Uran, o którym tu mowa, jest uranem o zawartości ^{235}U mniejszej niż 1%, dlatego też domieszka ^{239}Pu jest niezbędna do wyprodukowania świeżego paliwa.
- Paliwo MOX nie nadaje się do produkcji broni jądrowej

Przerób paliwa wypalonego



Ładowanie kanistrów z
zeszklonym
paliwem do silosów

- Z paliwa wypalonego można uzyskać około **230 kg Pu/1GW rok** (1% całości paliwa).
- Recykliczacji podlega 97% wypalonego paliwa, 3% (ok. 700 kg rocznie z elektrowni o mocy 1000 MWe) stanowią **odpady wysokoaktywne**. Po przerobie pozostaje wysokoaktywny odpad w ciekłej postaci. Ciecz ta zawiera zarówno fragmenty rozszczepienia, jak i **promieniotwórcze aktynowce**.
- Przerób tej cieczy polega na jej **witryfikacji**, tj. zeszkleniu. Tak przygotowana gorąca borosilikatowa masa szklana (Pyrex) wlewana jest do stalowych (ze stali nierdzewnej) pojemników, które po ostudzeniu są zaspawywane.

Ilość odpadów wysokoaktywnych



Blok szkła borosilikatowego odpowiada ilości 0,25 kg odpadów promieniotwórczych o wysokiej aktywności przypadających na człowieka w czasie jego życia, pochodzących z energii elektrycznej produkowanej w EJ.

W każdym pojemniku (kanistrze) mieści się 400 kg masy szklanej.

Odpady z jednego roku pracy reaktora o mocy 1000 MWe, to 5 ton takiego szkła lub 12 kanistrów o wysokości 1,3 m i średnicy 0,4 m,

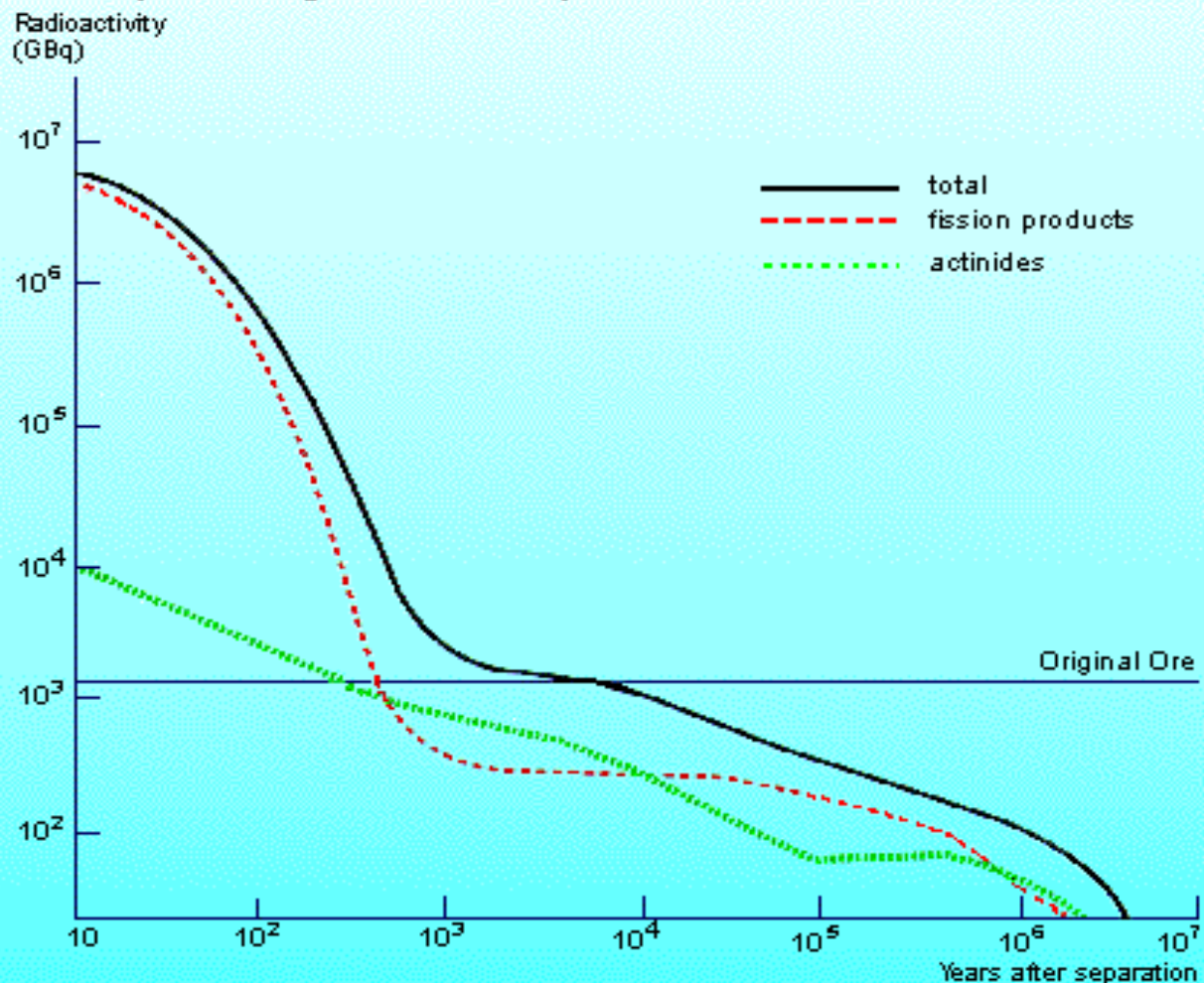
Łatwo je transportować i przechowywać w odpowiednich warunkach osłonowych.

Przetwórnice paliwa we Francji, Wielkiej Brytanii i Belgii wytwarzają około 1000 ton rocznie takiego zeszkłonego paliwa (2500 kanistrów).

Możliwości recykliczacji na świecie

Paliwo	Kraje	Moc przerobu [t/rok]
Paliwo w reaktorach lekkowodnych	Francja, La Hague	1600
	Wlk. Brytania (THORP)	1200
	Rosja	40
	Japonia	100
Razem		3300
Inne paliwo	Wlk. Brytania	2100
WSZYSTKIE MOŻLIWOŚCI PRZEMYSŁU CYWILNEGO		5400

Decay in radioactivity of high-level waste from reprocessing one tonne of spent PWR fuel



GBq = 10^9 becquerel

The straight line shows the radioactivity of the corresponding amount of uranium ore.

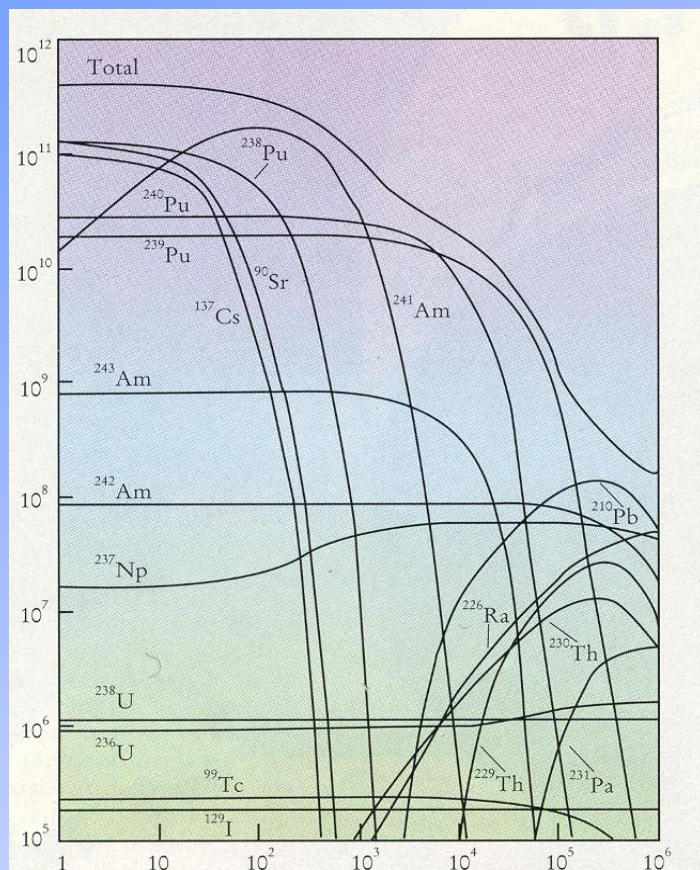
NB both scales are logarithmic.

Source: OECD NEA 1996, *Radioactive Waste Management in Perspective*.

Aktywność [w GBq]
pozostałości po recykliczacji
1 tony wypalonego paliwa z
reaktora typu PWR

Przechowywanie odpadów
głęboko pod ziemią nie
przedstawia dla ludzi
żyjących w pobliżu
składowiska
podziemnego istotnego
zagrożenia, chyba że ktoś
przez przypadek zechce w
tym miejscu kopać. Nawet
wtedy niebezpieczeństwo
będzie miało na
pewno charakter lokalny, a
nie globalny

Spadek radiotoksyczności w funkcji czasu



Radiotoksyczność różnych nuklidów znajdujących się w wypalonym paliwie, = objętość wody wymagana dla rozpuszczenia radionuklidów do maksymalnej dopuszczalnej (a więc uznanej za bezpieczną) koncentracji na jednostkę masy radionuklidu.

Podane wartości dotyczą bezpośredniego wchłonięcia izotopu drogą pokarmową.

Toksyczność ^{90}Sr i ^{137}Cs zanika względnie szybko. Po kilkuset latach od wyładowania wypalonego paliwa z reaktora radiotoksyczność wypalonego paliwa jest zdominowana przez aktynowce i ich pochodne.

Zagrożenia przy składowaniu paliwa wypalonego

Wszystkie odpady zgromadzone do roku 2000, po schłodzeniu ich przez okres 500 lat, będą miały aktywność odpowiadającą aktywności promieniowania naturalnego gleby ziemskiej o objętości 30x30x2 km (te 2 kilometry odpowiadają głębokości podziemnych składowisk odpadów promieniotwórczych).

Co się stanie, gdy pojemniki na wysokoaktywne odpady rozszczelnia się i materiał promieniotwórczy zacznie migrować do powierzchni?

Trwałość pojemnika stalowego oceniana jest na 1000 lat, więc ewentualne zagrożenia należy rozpatrywać dla poziomów aktywności paliwa po ok. 1000. letnim składowaniu.

Powolna dyfuzja w glebie

Czasy charakterystyczne dla dyfuzji powodują, że pokonanie warstwy 500 – 1000 m musiałoby zająć czas porównywalny z dziesiątkami tysięcy lat.

Najlepszego przykładu dostarcza sytuacja w Oklo. Przez 2 miliardy lat od wygaśnięcia naturalnych reaktorów materiały reaktorowe znajdują się wciąż na miejscu pomimo istnienia w okolicy dużej ilości wody wypłukującej ten materiał, który z czasem przeszedł z materiału promieniotwórczego (wypalonego paliwa) w materiał *de facto* trwały

Skutki nieprzewidzianych zdarzeń

W wypadku nie przewidywanego trzęsienia ziemi nie należy spodziewać się, że pojemniki zostaną wyrzucone na wierzch. Wręcz przeciwnie – trzęsienie ziemi powinno je zakopać jeszcze głębiej, a z powodów opisanych przed chwilą nie należy również obawiać się problemu zniszczenia tych pojemników.

Na dziś poważniejszym problemem mogą być nagromadzone odpady choćby z przemysłu militarnego, przechowywane w pojemnikach metalowych w tymczasowych składowiskach.

Możliwości ich rozszczelnienia, czy przeniknięcia radionuklidów do cieków wodnych należy rozważać serio i podejmować odpowiednie akcje zaradcze.

Recykлизacja – wykorzystanie materiałów rozszczepialnych



Przebieg „jednokrotny”
W USA paliwo spalone w reaktorach termicznych nie jest przerabiane ani ponownie wykorzystywane

Recykлизacja plutonu
W innych państwach rozwiniętych z paliwa spalonego w reaktorach termicznych pozyskiwany jest pluton za pośrednictwem metody PUREX

Pełna recykлизacja
Jeszcze nie wdrożone prędkie reaktory powielające i pirometalurgiczne przetwarzanie paliwa

A więc czy recykлизacja, czy tylko składowanie wieczyste ?

- Przeciwnicy rozwoju EJ walczą ostro przeciw przerobowi paliwa wypalonego. Ich argumenty to:
- Rząd USA przerabiał wypalone paliwo z Projektu Manhattan w latach 80-tych by odzyskać Pu i wysoko wzbogacony U do celów militarnych. Zakłady cywilne przerobu paliwa wypalonego w West Valley zamknięto po 6 latach pracy (1966-72).
- Francja i Rosja prowadzą przerób paliwa wypalonego, w Sellafield wykryto wyciek radioaktywny w kwietniu 2005 r, a w Japonii duże Z-
dy w Rokkasho-mura choć nie są jeszcze w pełni uruchomione po 13 latach prac i wydaniu 20 mld USD - już skażają okolicę.
- Prawda – w Sellafield przeciek był, ale do zbiornika betonowego, nie skażył otoczenia.

Awaria w zakładach przerobu plutonu w Tomsku

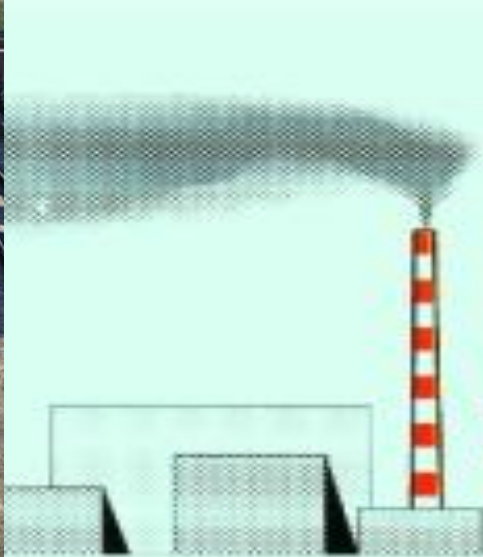
- 6 kwietnia 1993 w zakładach Chemicznych w Tomsku-7 przerabiających paliwo w celu odzyskania plutonu do celów wojskowych, wzrost ciśnienia spowodował wybuch i rozerwanie mechaniczne zbiornika chemicznego o objętości 34 m³ umieszczonego w bunkrze betonowym pod budynkiem 201 zakładów radiochemicznych.
- Zbiornik zawierał mieszaninę stężonego kwasu azotowego, uranu (8757 kg), Pu (449 g) i odpadów radioaktywnych i organicznych z poprzedniej fazy cyklu ekstrakcji.
- Wybuch przemieścił betonową pokrywę bunkra i wybił dużą dziurę w dachu budynku, powodując uwolnienie około 6 GBq Pu 239 i 30 TBq innych radionuklidów do otoczenia.
- Awaria spowodowała napromieniowanie 160 robotników w zakładach i prawie 2 tysiący pracowników odkażających teren dawkami do 50 mSv (wartość progowa dawki dla pracowników narażonych zawodowo wynosi 100 mSv na 5 lat).
- Smuga radioaktywna sięgała 28 km na NE od budynku 201. Na końcu smugi znajdowała się mała wieś Georgievka (pop. 200), ale nie stwierdzono w niej

Awaria w Japonii

- 30 września 1999 zdarzył się najgorszy w Japonii wypadek jądrowy w zakładach przerobu uranu w Tokai Mura, na pn-wsch. od Tokio.
- Bezpośrednią przyczyną awarii była nadkrytyczność spowodowana przez błąd operatora, który do zbiornika w którym prowadzono wytrącanie uranu dodał roztwór azotanu uranylu zawierający około 16.6 kg uranu, co spowodowało przekroczenie masy krytycznej.
- Zbiornik nie był zaprojektowany do rozpuszczania tego typu roztworu i nie był ukształtowany tak, by wykluczyć powstanie stanu krytycznego.
- Trzej robotnicy otrzymali dawki promieniowania przekraczające wartości dopuszczalne (dwóch z nich zmarło). Ponadto 116 osób otrzymało dawki powyżej 1 mSv.

Awarie w zakładach brytyjskich

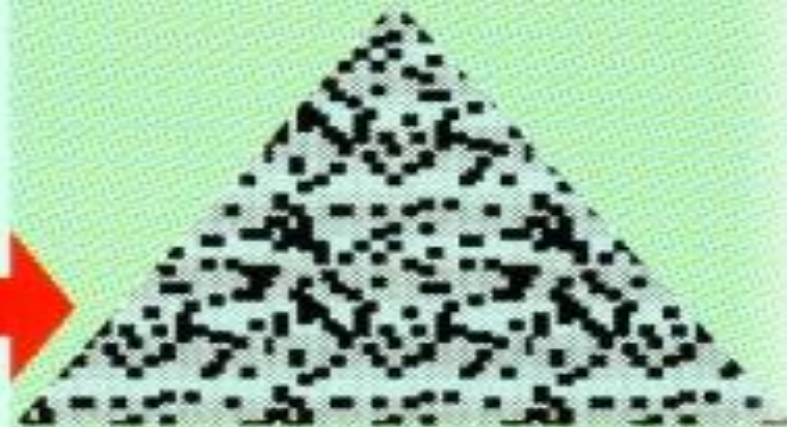
- 19.4.2005 r. w Sellafield, W. Brytania, 20 ton U i 160 kg Pu rozpuszczone w 83 m³ kwasu azotowego wyciekało niespostrzeżenie przez kilka miesięcy z pękniętej rury do komory ściekowej ze stali nierdzewnej w zakładach przerobu paliwa wypalonego Thorp. Częściowo przerobione paliwo wypalone zostało wydrenowane do zbiorników składowania poza zakładami.
- Wrzesień 2005 Dounreay w W. Brytanii zamknięto układ cementowania odpadów radioaktywnych, gdy 266 litrów radioaktywnych pozostałości z procesu przerobu paliwa wypalonego rozlało się poza obudowę bezpieczeństwa. W październiku zamknięto następne laboratorium w tych zakładach, gdy testy wydzieliny z nosa 8 robotników wykazały obecność śladowych ilości radioaktywności.



1000 MWe elektrownia węglowa

2 000 000 ton węgla

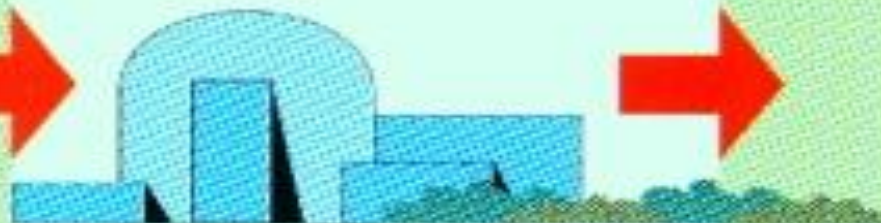
Ilość odpadów



Ok. 7 mln ton odpadów/rok
Większość to gazy CO_2 , SO_2 i NO_x ,
oraz 150-200 tys. ton odpadów
stałych; popioły i siarka.



rok



1000 MWe elektrownia jądrowa

25 ton paliwa jądrowego



Ok. 10 ton odpadów
wysokoaktywnych
oraz 100 ton średnio-
i niskoaktywnych.

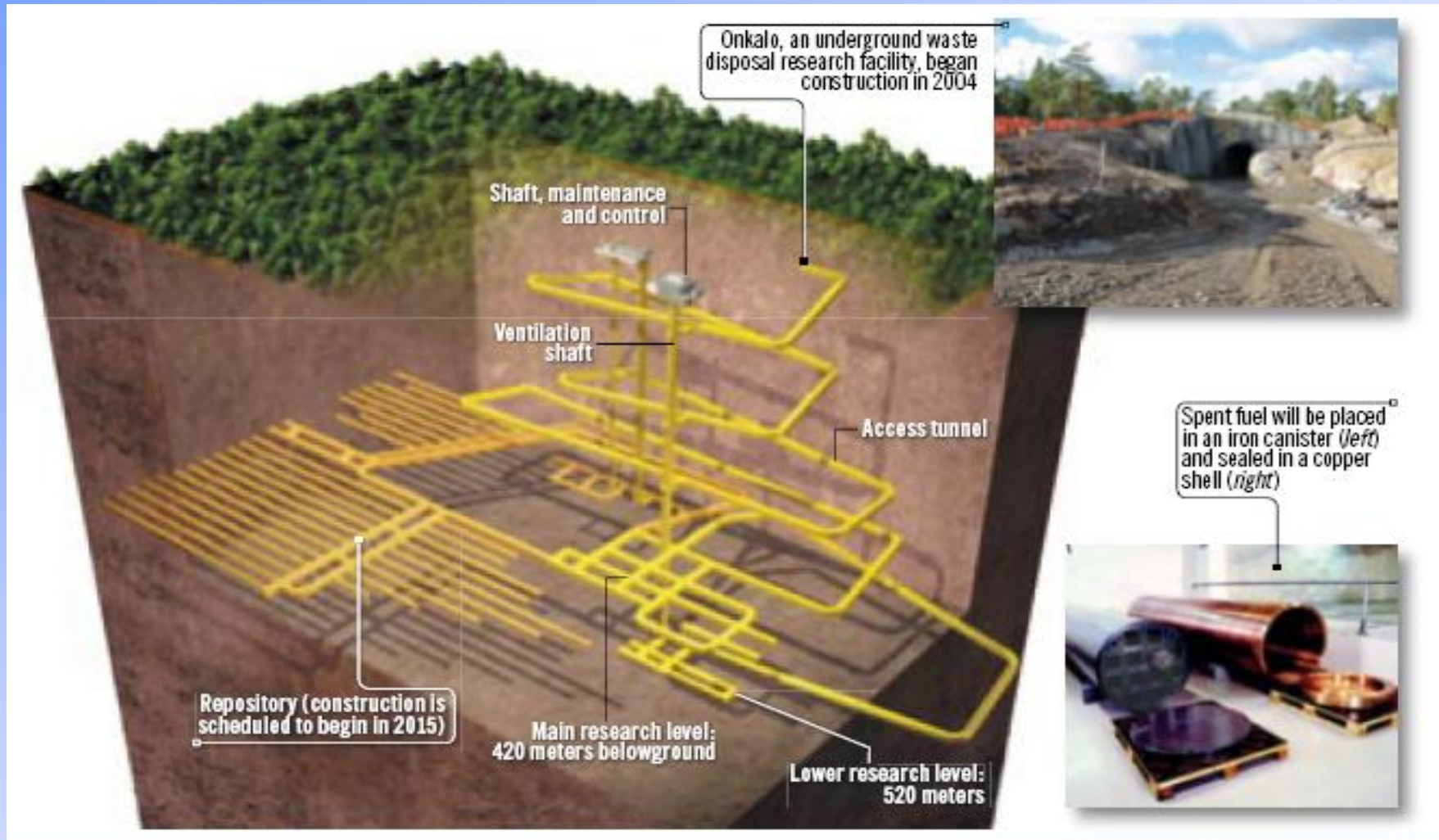
Odpady z EW 175 000 kg /70 osobo-lat, z EJ 2,75 kg (wszystkie)

Kopalnia węgla brunatnego w Niemczech

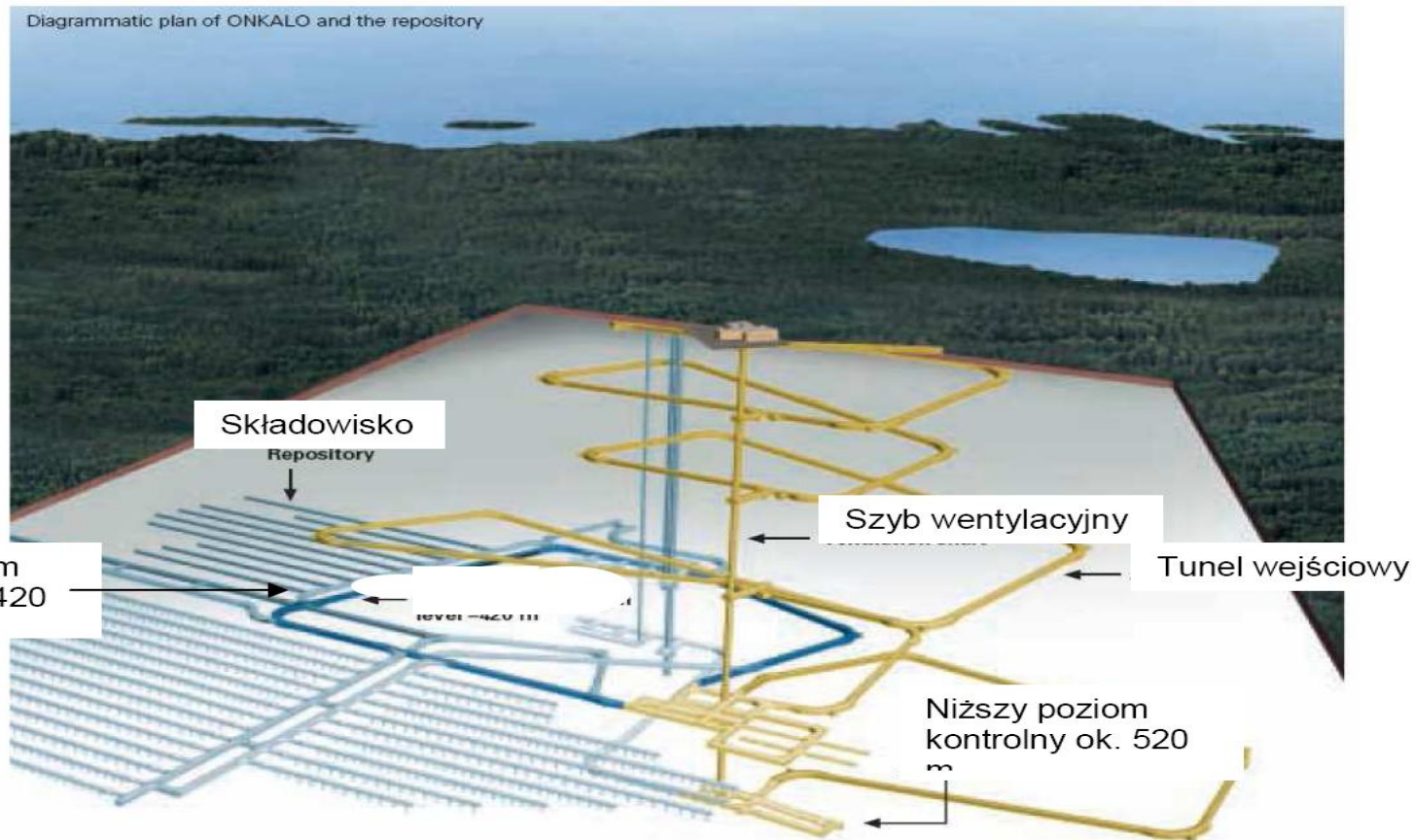


**Wskaźnik zagrożenia od odpadów po spalaniu: Cu – 1672 km³ H₂O/GWe.a,
Ni –242, Cr –41, V 0-530, Co 0-295, Mn 0-165 , itd., razem 2100-3100 km³/GWe.a**

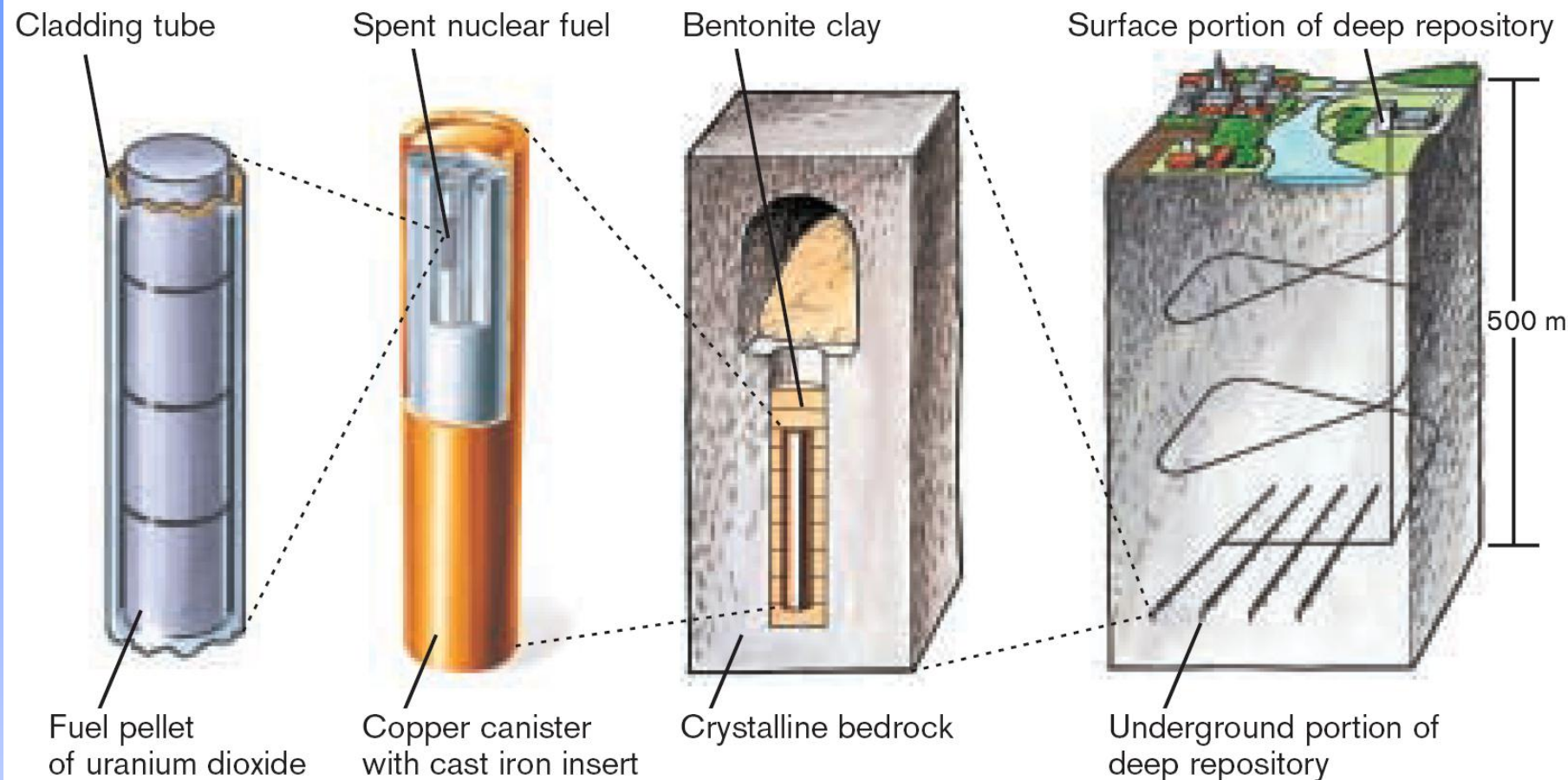
Składowisko wysokoaktywnych odpadów w Olikiluoto. Finlandia



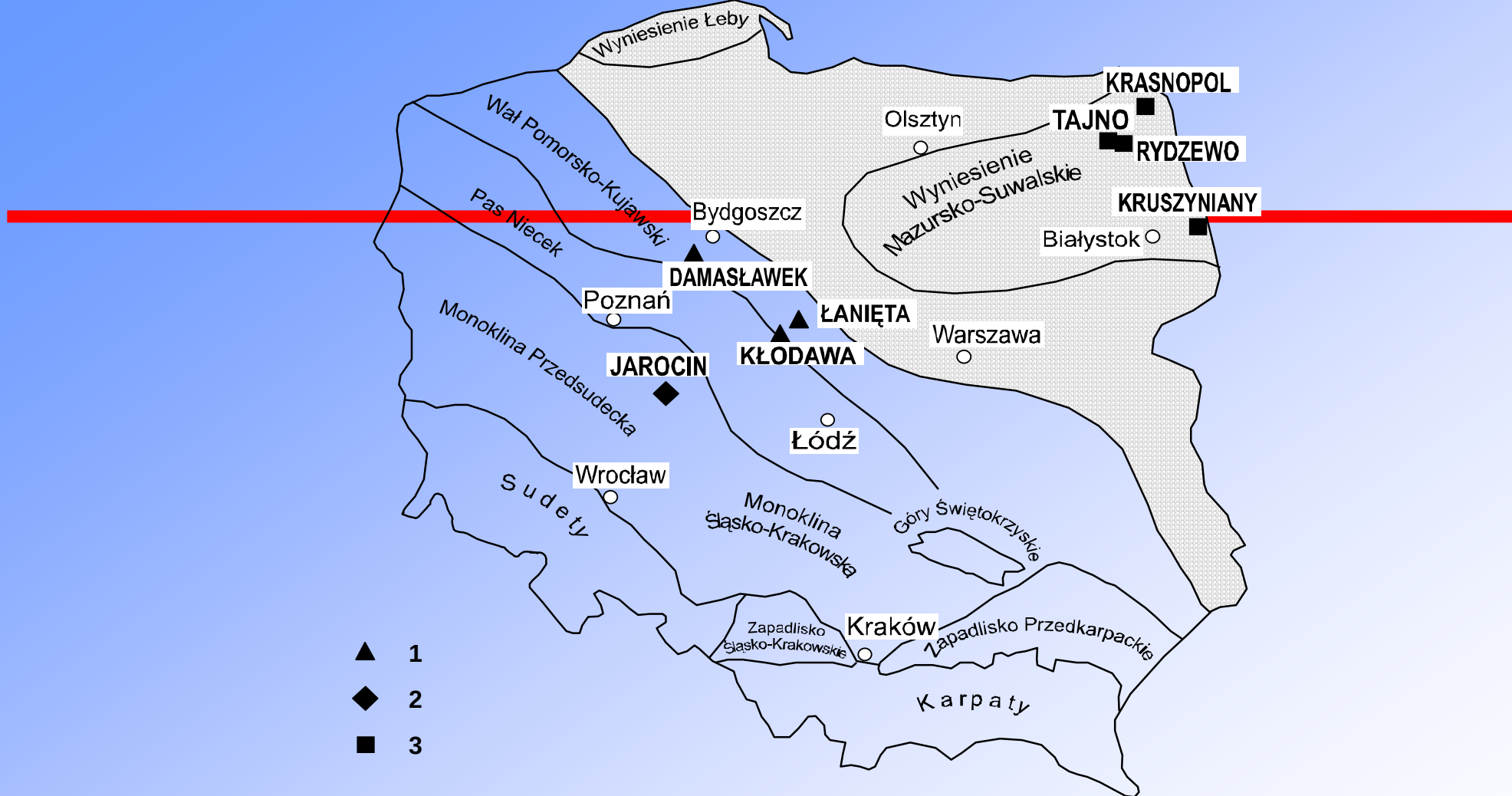
Olikiluoto. Finlandia



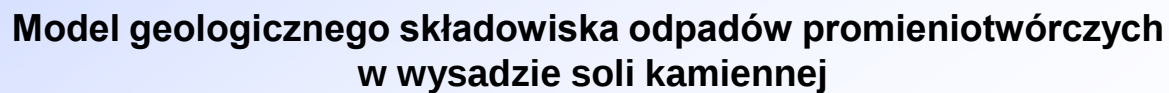
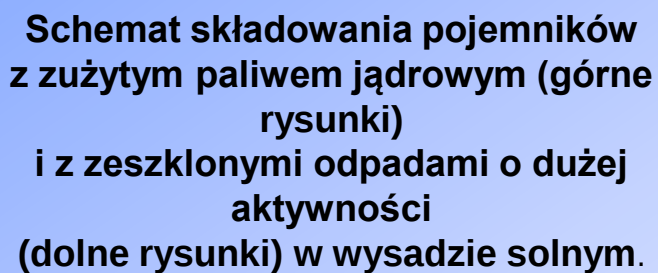
Układ barier izolujących paliwo wypalone w szwedzkim składowisku w Oskarhamn

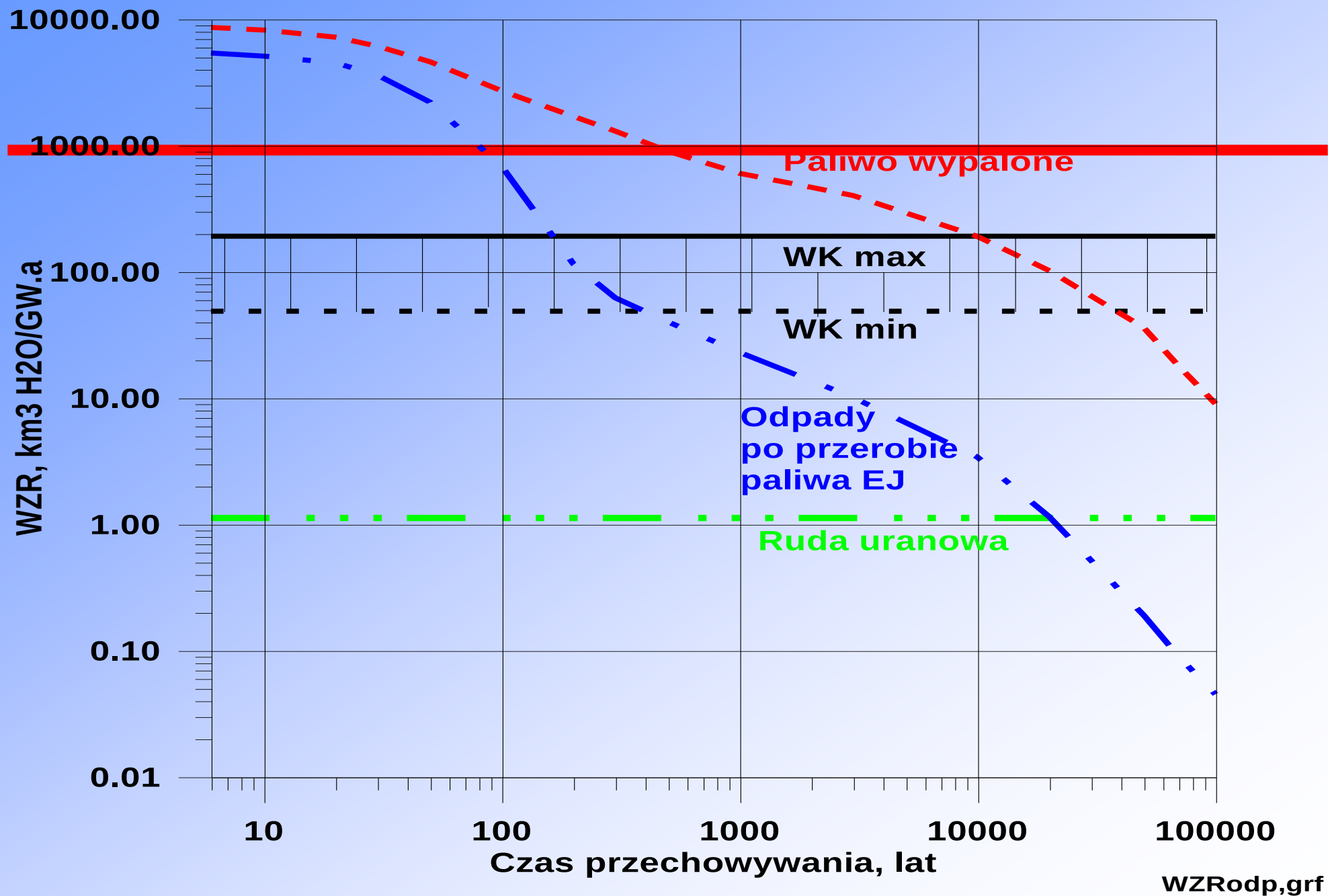


- A) Stos pastylek paliwowych z UO_2 w koszulce. B) Pojemnik miedziany z wkładką z żeliwa, zawierający wypalone elementy paliwowe, C) Skała, w której wykonano studnie wypełnione bentonitem, D) Część podziemna składowiska głębokiego.



Lokalizacja miejsc wytypowanych jako perspektywiczne dla budowy geologicznego składowiska odpadów promieniotwórczych na tle głównych jednostek geologicznych w Polsce. Lokalizacje w skałach magmowych w podłożu krystalicznym NE Polski traktowane są jako rezerwowe.
1 – wysady soli kamiennej; 2 – kompleks skał ilastych; 3 – skały magmowe (granity i inne).





Czyste powietrze nad EJ Loviisa - i tania energia elektryczna. Jakie są więc argumenty przeciw?



Argument przeciw EJ- pluton

Wywiad z przeciwnikiem EJ w mieście Loviisa (TVP, 1991)

- Czy EJ Loviisa powoduje zachorowania na raka?
 - NIE, i personel i ludność są zdrowi
- Czy zanieczyszcza okolicę?
 - NIE, jest bardzo czysta, nie emituje zanieczyszczeń.
- Czy powoduje zagrożenie awarią?
 - NIE, jest bardzo bezpieczna.
- Czy jest zbyt kosztowna?
 - NIE, daje energię tańszą niż inne elektrownie fińskie

Więc – czemu jest Pan przeciw?

Bo w EJ powstaje PLUTON, a to jest pierwiastek zły („EVIL”) – Pan Bóg go nie stworzył, produkuje go tylko człowiek w EJ. **ALE – Czy rzeczywiście ?**

Czy reaktory jądrowe istniały przed człowiekiem?

Przeciwnicy energetyki jądrowej twierdzą, że promieniowanie jest zawsze szkodliwe.

A gdy widać, że nie ma ono złych skutków używają argumentu:

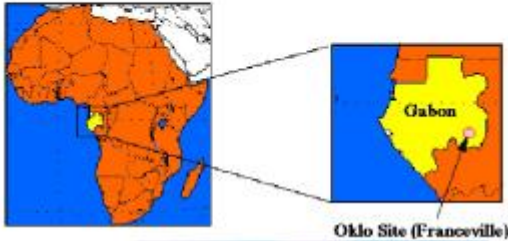
„**Pluton jest złem!**” (Nauczyciel w szkole w mieście Loviisa)

A plutonu nie stworzyła natura – produkuje go człowiek w reaktorach jądrowych.” twierdził nauczyciel i dlatego był przeciwnikiem elektrowni jądrowej.

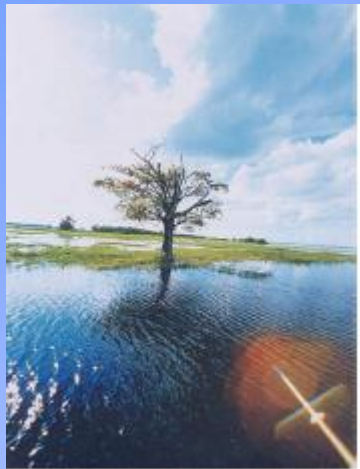
Miał on swoje racje by nie lubić EJ. (Szwed – w otoczeniu Finów budujących EJ Loviisa)

Ale czy rzeczywiście plutonu nie tworzyła natura?

Location of Oklo site in Gabon (Africa)



Zawartość U-235 w rudzie uranowej jest stała, ale...



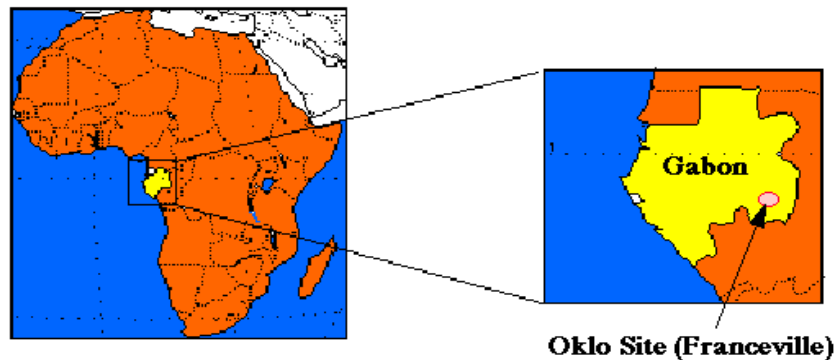
W 1972 przy rutynowej analizie zawartości U-235 w rudzie uranowej z Gabonu, wykryto znaczne odchylenie od standardowej zawartości U-235 wynoszącej 0,7202 % (procent atomów).

Pierwotna analiza wskazała na zawartość 0,7171 % U-235. Dalsze analizy wykryły spadek stężenia do 0,621%, a w jednej z próbek tylko 0,44%.

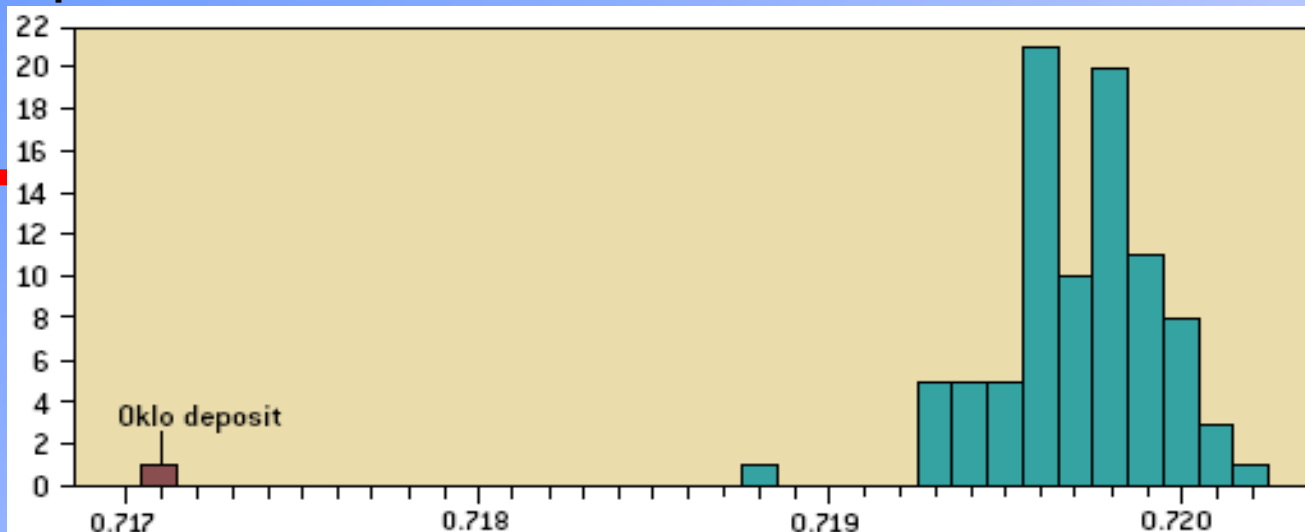
Próbki pochodziły z kopalni w Oklo.

W czerwcu 1972, rutynowa analiza zawartości U-235 w rudzie uranowej z Gabonu, w Afryce, ujawniła duże odchylenie od standardowej wielkości $0.7202 \pm 0.0006\%_a$ U-235. Analiza wykazała $0.7171 \pm 0.0010\%_a$ U-235. Dalsze analizy ujawniły stężenia U-235 nawet do $0.621\%_a$, a jedna z próbek zawierała $0.440\%_a$. Okazało się, że próbki te pochodziły z kopalni Oklo.

Location of Oklo site in Gabon (Africa)

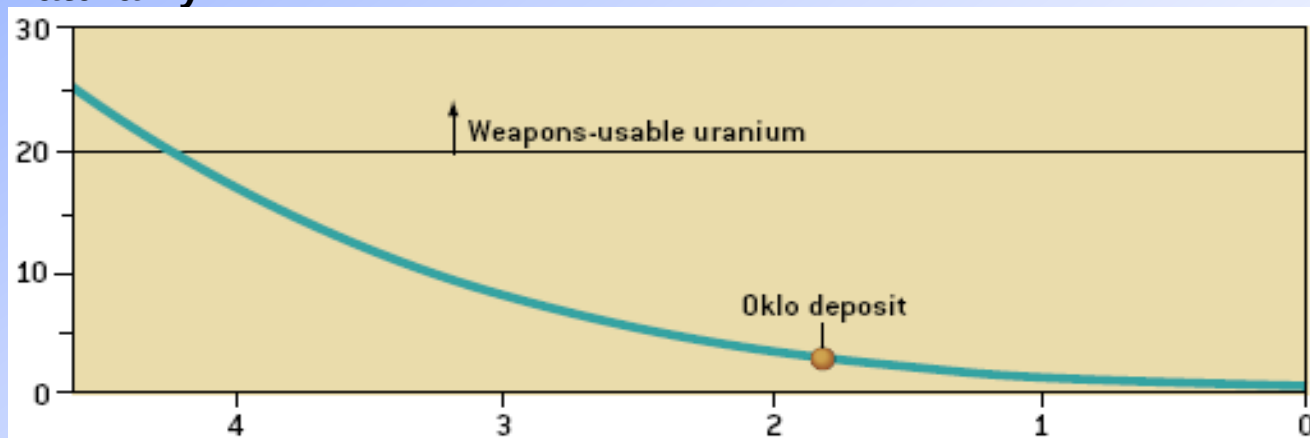


liczba próbek



% U 235 w
uranie
naturalnym

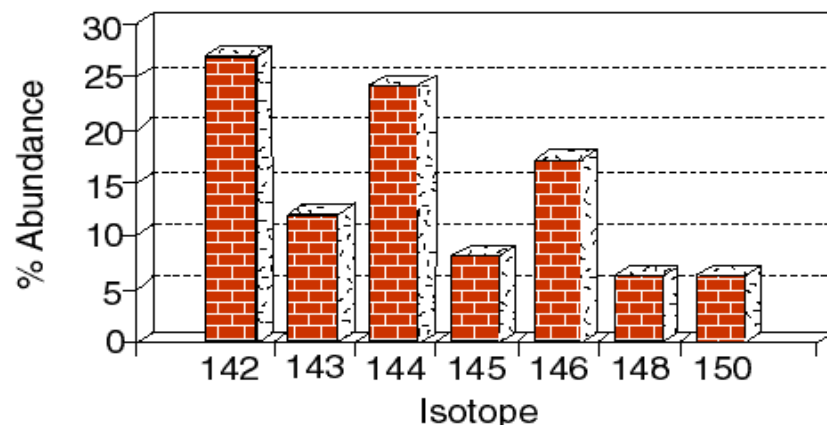
zawartość U-235 w próbkach, %



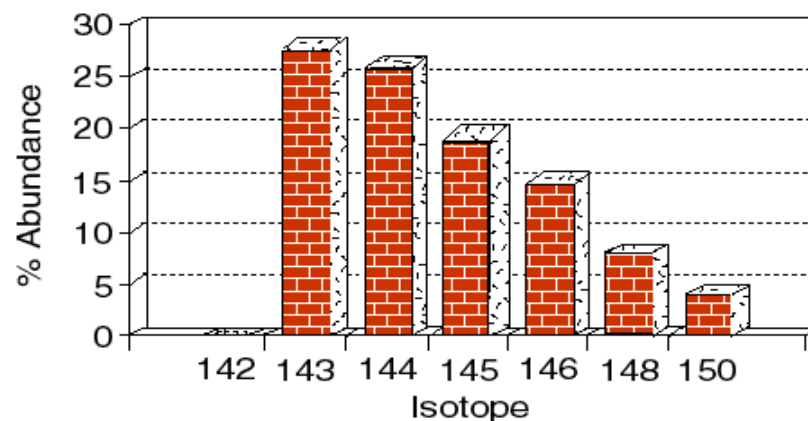
miliardy lat temu

Odchylenia w składzie izotopowym neodymu w Oklo

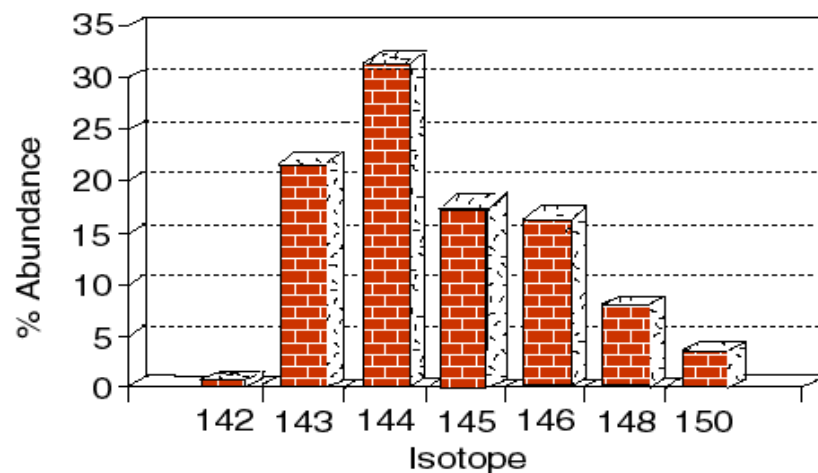
Natural Neodymium



Neodymium from U-235 Fission

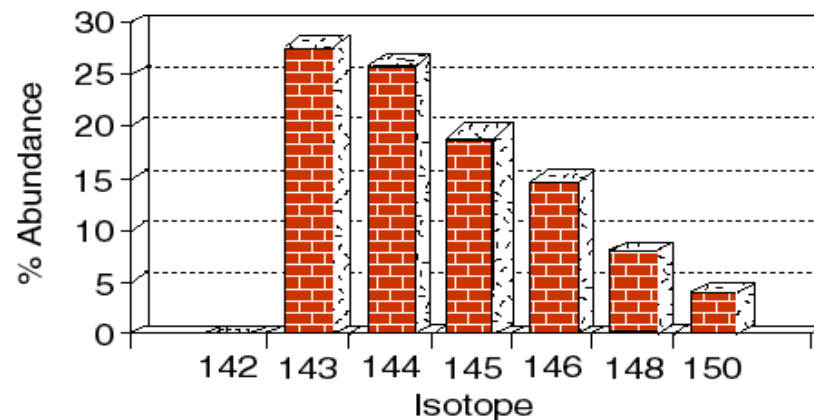


Neodymium from OKLO Deposit



Neodymium from OKLO Deposit

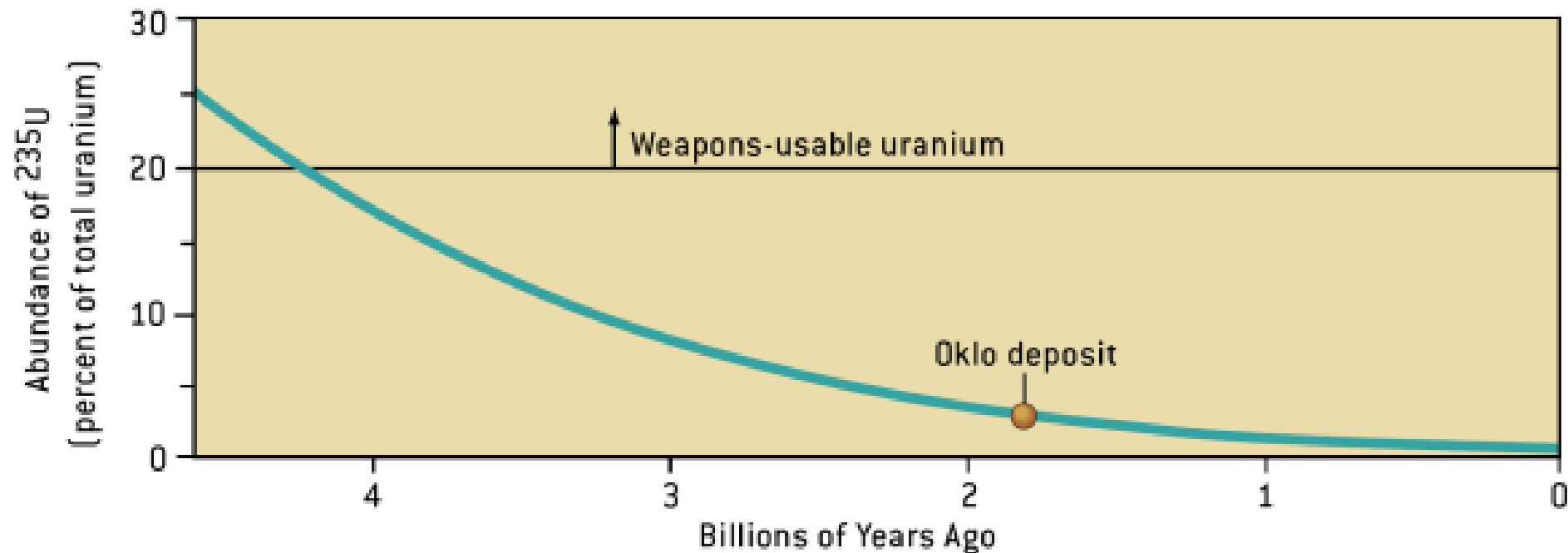
Corrected for Natural Neodymium



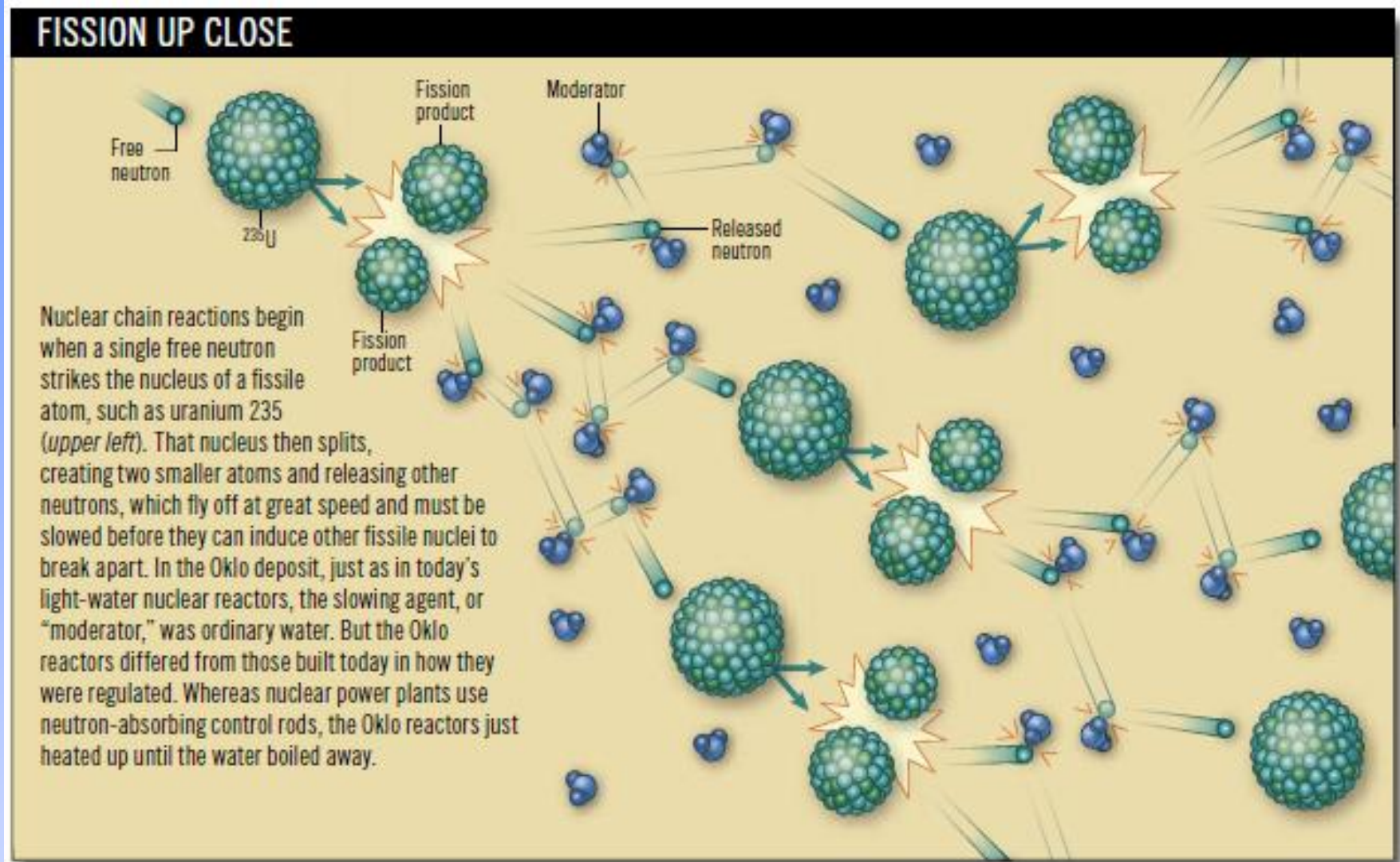
Reaktory naturalne w Oklo

- Reaktory pracowały z przerwami od kilku lat do setek tysięcy lat.
- Do utrzymania reakcji łańcuchowej z moderatorem wodnym, potrzebne jest wzbogacenie uranu do około 3% U-235.
- Takie wzbogacenie w uranie naturalnym występowało około 1.45×10^9 lat temu (mniej niż 3 okresy połowicznego rozpadu U-235).
- Od zakończenia pracy reaktorów naturalnych minęło 2 mld lat. W tym czasie rozpadły się wszystkie produkty rozszczepienia, nawet te mające $T_{1/2}$ rzędu miliona lat. Nawet gdyby cały U w Oklo zamienił się w jod ^{129}I , ^{135}Cs , i ^{107}Pd ($T_{1/2}$ 1.7×10^7 , 2.3×10^6 i 6.5×10^6 lat) to dziś pozostałby mniej niż 1 atom tego izotopu

Zawartość U-235 w rudzie uranowej



Jak reaktory w Oklo regulowały swą moc?



Przed 2 mld lat zawartość U-235 w rudzie wynosiła około 3 %

Części złoża uranu eksploatowanego teraz w Gabonie dawno temu funkcjonowały jako naturalne reaktory jądrowe.

Woda działała jako moderator.

Mniej więcej 30 minut po tym, jak rozpoczęła się reakcja rozszczepienia jądrowego, temperatura osiągnęła wartość, przy której większość wody gruntowej wyparowywała, pozbawiając reaktor moderatora i przerywając reakcję rozszczepienia.

W związku z brakiem reakcji rozszczepienia utrzymującej wysoką temperaturę ośrodka, temperatura złoża zaczynała stopniowo spadać.

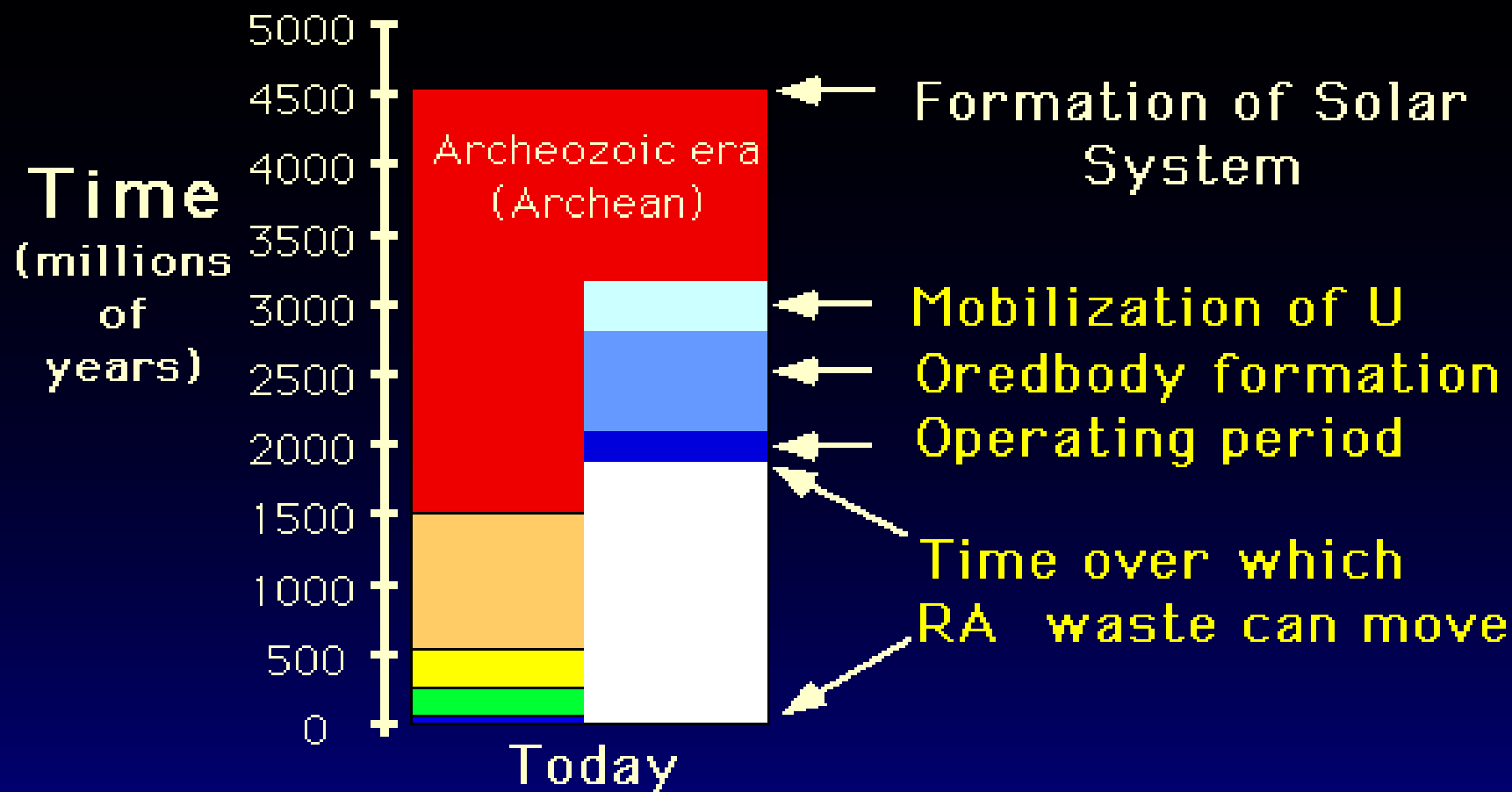
Po ostudzeniu wody, zaczynał się następny cykl reakcji rozszczepienia w cyklu: 1/2h pracy i co najmniej 2,5 h bezczynności

Co zostało po reaktorach w Oklo?

- Reaktory w Oklo pracowały przez setki tysięcy lat.
- **Produkowały pluton.** (Nauczyciel z Loviisa nie znał się na fizyce reaktorów)
- Wytwarzały produkty rozszczepienia - jod, ksenon, stałe produkty rozszczepienia.
- A chociaż reaktory w Oklo znajdowały się w wodzie – produkty rozszczepienia pozostały na miejscu przez 2 miliardy lat.
- Czy mamy więc obawiać się, że odpady radioaktywne umieszczone pod ziemią, w suchych pokładach geologicznych przedostaną się do naszego środowiska?
- I czy mamy bać się promieniowania – naturalnego składnika naszego świata?

Odpady z Oklo miały 2 mld lat na migrację – ale pozostały na miejscu!

Oklo Time Scales



Czy można więc przechowywać odpady przez tysiące lat?

Widzieliśmy że po 300 latach w morzu rzeźby i beczki z piwem pozostały całe.

Po 2 miliardach lat izotopy neodymu i uranu pozostały w Oklo na miejscu mimo dostępu wody.

Nawet gaz - ksenon – pozostał po 2 mld lat uwięziony w kryształach fosforanu glinu.

A my stosujemy wielokrotne warstwy w pojemnikach osłonnych i umieszczamy je w suchych i stabilnych stolniach według najlepszej sztuki inżynierskiej XXI wieku.

Zagrożenie ze strony odpadów wysokoaktywnych po przerobieniu paliwa wypalonego maleje poniżej zagrożenia od rudy już po upływie 300 lat.

Czyż nie mamy prawa ufać, że przechowywanie odpadów radioaktywnych jest wystarczająco bezpieczne?

Akceptacja składowisk odpadów wysokoaktywnych na świecie

We Francji i w Finlandii parlament podjął decyzję o budowie głębokiego składowiska geologicznego dla wysokoaktywnych odpadów jądrowych

Gminy szwedzkie konkurują o uzyskanie składowiska odpadów radioaktywnych. Niedawne badania opinii publicznej pokazały, że budowę w swych własnych miejscowościach popiera 79 % mieszkańców Oskarhamn i 73% mieszkańców Osthhammar. Okazało się, że kompleks NIMBY (Not In My BackYard- nie na moim podwórku) został przełamany.

Podobna sytuacja występuje w Finlandii i w Korei Południowej

Parlament, senat i prezydent USA zatwierdzili projekt wykorzystania Yucca Mountain do składowania odpadów wysokoaktywnych z EJ.

W Polsce delegaci gminu Różan jeżdżą uporczywie do wszystkich gmin, gdzie mogą być budowane składowiska odpadów radioaktywnych i starają się, by gminy te odrzuciły nowe składowisko- tak by Różan utrzymał dotychczasowe korzyści.

Po 200-300 latach odpady radioaktywne będą mniej groźne niż odpady ze spalania węgla

Przykłady możliwych lokalizacji w Polsce składowiska odpadów wysokoaktywnych

Permskie złoża solne na głębokości 740 m pod powierzchnią ziemi, o średniej grubości około 200 m,



Złoża prekambryjskie

...
Studium PAA i Instytutu Geologii znalazło wiele innych możliwych lokalizacji



Zagrożenie: rozpuszczenie odpadów w wodzie i przesączenie się do zasobów wody pitnej

Ochrona: system barier: zeszklenie odpadów, szczelne pojemniki, grube warstwy skalne.

Czy potrafimy **zabezpieczyć odpady przez kilkaset lat?**

Na pewno tak!

- 1) **Po wityfikacji odpady** odporne na wymywanie
- 2) **Pojemniki (stal nierdzewna)** mogą przetrwać od 1000 do 10 000 lat.
- 3) **Pokłady solne lub granitowe** chronią przed dostępem wody – a trwają nienaruszone miliony lat...
- 4) Nawet w razie wycieku substancje radioaktywne przesączenie przez **600-700 m skał... trwa około 100 tysięcy lat!**

A potem zagrożenie będzie BARDZO małe...