

Energetyka Jądrowa

wykład 10 - 16 maja 2017

Zygmunt Szefliński

Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów

szef@fuw.edu.pl

<http://www.fuw.edu.pl/~szef/>

Uran naturalny

0,71 % - U-235, $T_{1/2}=0,72$ mld lat

99,29 % - U-238, $T_{1/2}=4,5$ mld lat

0,0055% - U-234 produkt rozpadu U-238

Uran wchodzi w skład ponad dwustu minerałów, ale spotyka się go zwłaszcza w granitach bądź skałach osadowych (uraninit) i w fosforytach. W skorupie ziemskiej średnia zawartość uranu wynosi 4 gramy na tonę, a w wodzie morskiej, 3 mikrogramy na litr (3 mg na tonę wody).

Uran w środowisku

Poszukiwanie uranu w skałach podziemnych prowadzi się technologiami obrazowania satelitarne oraz metodami geofizycznymi, głównie metodą radiometrii opartą na wykrywaniu radu (pochodzącego od uranu).

Informacji o jakości i stężeniu rudy dostarczają badania prowadzone metodami elektrycznymi i elektromagnetycznymi oraz badania geochemiczne, uzupełniane wierceniami.

Między ujawnieniem obecności rudy uranowej a rozpoczęciem eksploatacji złoża może minąć około 15 lat.

Rudy uranu



Ruda uranowa: gummit i uraninit.



Ruda uranowa: chalkolit



Ruda uranowa: autunit.
Występuje w Polsce
Góry Świętokrzyskie
Miedzianka

Uran w środowisku

Minerały zawierające uran-przykłady



Pitchblenda - UO_2



Carnolit - $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2(\text{VO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$



Autunit - $\text{CaO}(\text{UO}_3)_2\text{P}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Występuje w Polsce
Góry Świętokrzyskie
Miedzianka



Sklodowskit - $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2(\text{HSiO}_4)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

Wydobycie uranu - metody

Uran wydobywamy poprzez odstonięcie skał zakrywających (kopalnie odkrywkowe), albo poprzez wykopanie chodników, jeśli ruda zalega głęboko (kopalnie podziemne). Stosuje się klasyczne metody, zbliżone do używanych w górnictwie pozostałych rud metali. Zaletą odkrywkowych kopalni uranu jest łatwość dostępu do rudy: stosuje się podobne technologie i podobny sprzęt, jak w kamieniołomach czy podczas robót niwelacyjnych. Warstwę wierzchnią usuwa się spychaczami, a rudę wydobywa się ładowarką mechaniczną i wywozi samochodami ciężarowymi.

Wydobycie uranu - nowe metody

Nowsza technologia wydobywania uranu, podziemne ługowanie bezpośrednio w złożu, pozwala wydobywać uran bez dużych prac podziemnych. Stosowane jest ono dla złóż rudy o niskiej zawartości uranu.

Wykonuje się kilka szybów, sięgających aż do pokładu rudy, poprzez które wstrzykuje się roztwór chemiczny, który rozpuszcza uran i jest odbierany poprzez pompowanie.

Wydobycie uranu - opłacalność

Obecnie uważa się, że opłacalne jest wydobywanie rudy o zawartości co najmniej 1 kg uranu na tonę. Rudy kanadyjskie, bardzo stężone, przekraczają czasem 180 kg uranu na tonę. Eksploatacja rud o tak wysokich stężeniach wymaga zastosowania specjalnych technologii wydobywczych, albo zdalnie sterowanych, albo przynajmniej z użyciem bardzo wydajnej wentylacji. Nie powinno się narażać górników na promieniowanie gamma i wdychanie radonu, który wydziela się ze skał i z pyłu rudy.

Wydobycie uranu

- Przy wydobyciu miedzi - Australia - Olympic Dam;
- Przy wydobyciu złota - Rep. Południowej Afryki;
- Kopalnie odkrywkowe - 27%;
- Kopalnie głębokie ~ 50%;
- Ługowanie głębokie In Situ Leach (ISL) - 20%

Zasoby uranu

Zasoby uranu dzieli się na 4 kategorie według pochodzenia. Pierwotne zasoby uranu naturalnego dzieli się na tzw. zasoby konwencjonalne, pochodzące z bezpośredniego wydobywania ze skał, i na zasoby pierwotne niekonwencjonalne, związane z przerobem fosforytów i wody morskiej. Zasoby wtórne są produktami ubocznymi procesów technologicznych związanych z przerobem uranu pierwotnego (U zubożony - DU - powstający w procesach wzbogacania, U z przerobu - RepU - powstający podczas przerobu paliwa wypalonego, oraz U wysokowzbogacony - HEU - pochodzący z broni jądrowej).

DU - Depleted Uranium.

RepU - Reprocessed Uranium.

HEU - Highly Enriched Uranium.

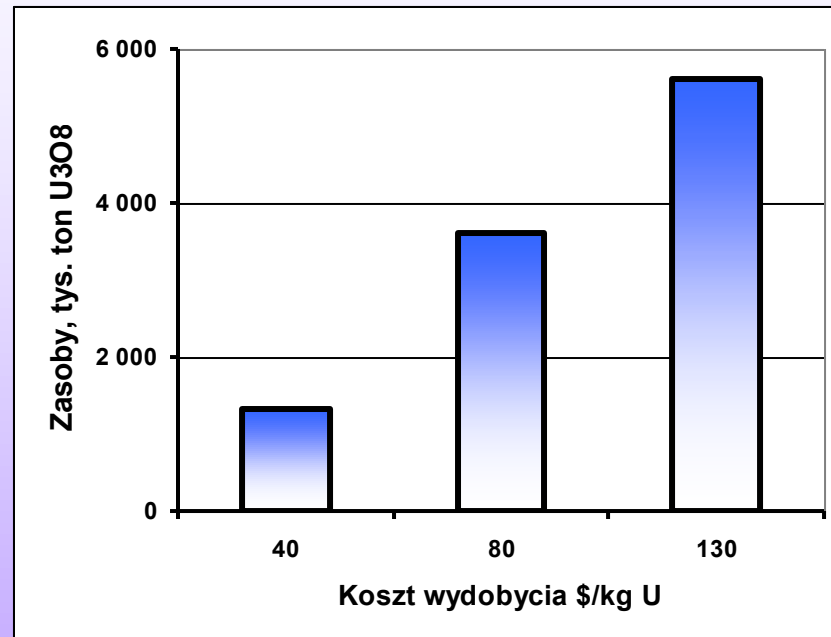
Zasoby uranu

Światowe zasoby pierwotne konwencjonalne na 1.01.2005 roku szacuje się na 15 milionów ton. Światowe zasoby pierwotne, nadające się do wykorzystania z kosztem poniżej 130 \$/kg, wynoszą 4,7 milionów ton (5,8 mln. ton w/g innych źródeł). Przy obecnym tempie zużycia przez reaktory zasoby te wystarczą na około 70 lat pracy.

Wydobycie uranu

Światowe rozpoznane zasoby uranu - mln ton U_3O_8

	<80 \$/kgU	<130 \$/kgU
Australia	1,074	1,910
Kazachstan	0,662	0,957
Kanada	0,439	0,532
Poł. Afryka	0,298	0,369
Namibia	0,213	0,287
Rosja	0,158	0,218
Brazylia	0,143	0,309
USA	0,102	0,355
Uzbekistan	0,093	0,153
Pozostali	0,480	0,526
Ogółem	3,622	5,834



Ceny uranu

Dysproporcje między podażą a popytem na rynku uranu naturalnego oraz światowe ożywienie programów jądrowych stały się przyczyną dużego napięcia w zakresie tzw. spotowych cen uranu naturalnego (w transakcjach doraźnych), a także zwiększenia dynamiki działalności poszukiwawczej.

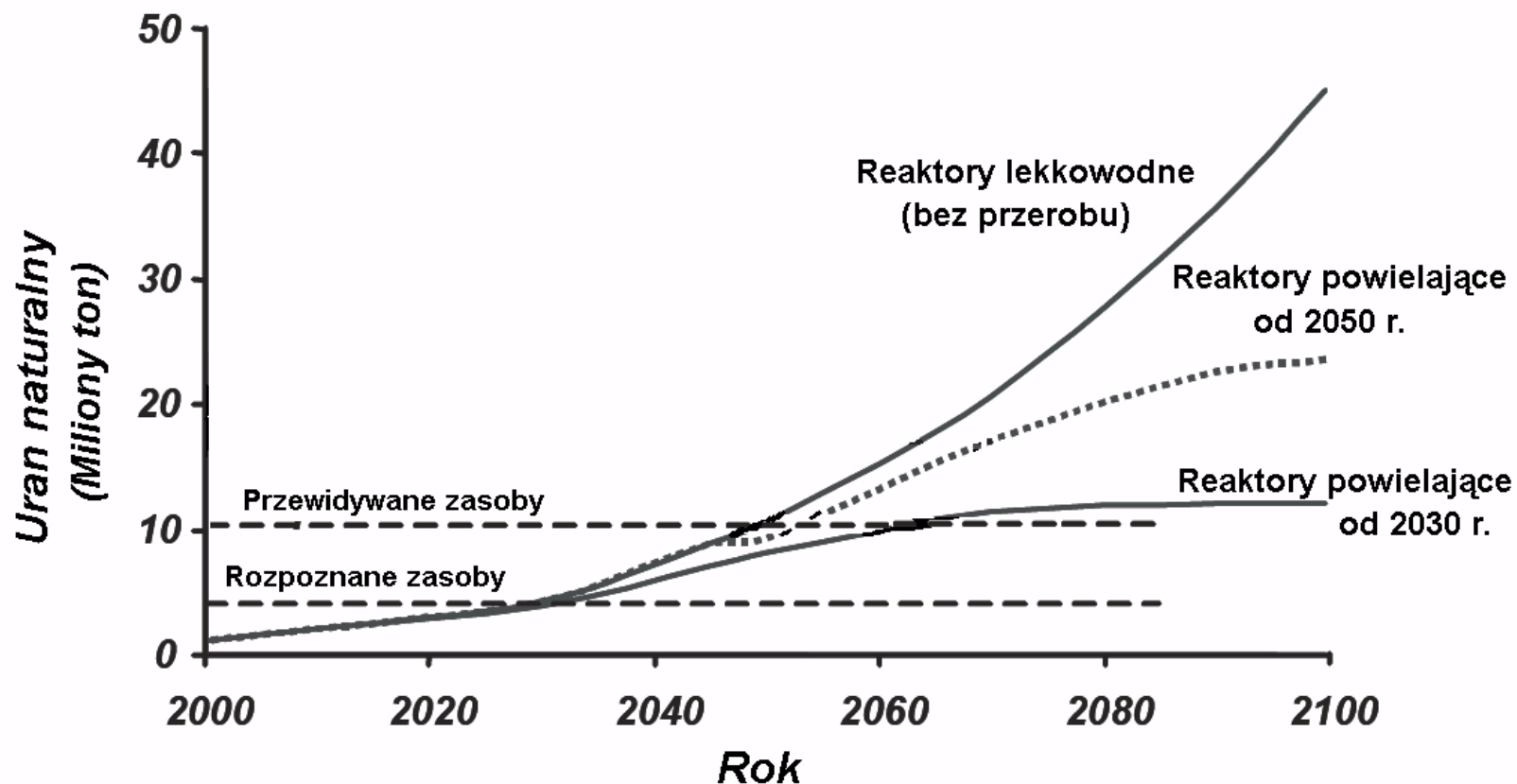
Na przykład, cena spotowa uranu naturalnego wzrosła między styczniem 2001 roku a styczniem 2006 roku z 19 \$/kgU do 98 \$/kgU, a w 2007 roku osiągnęła aż 300 \$/kgU, czyli w ciągu 6 lat wzrost był piętnastokrotny!

Rynek kontraktów „spotowych” zaspokaja jedynie 10 % zapotrzebowania na uran. Większość dostaw oparta jest na długoterminowych kontraktach, z niższymi cenami.



Paliwo jądrowe

W obecnie eksploatowanych reaktorach jądrowych do wytworzenia 1 TWh energii elektrycznej niezbędne jest wydobycie ze środowiska ok. 23 ton uranu naturalnego. 20 ton-to uran zubożony, 3 tony-to uran w paliwie. Rozszczepieniu ulega tylko 130 kg paliwa



Przerób i oczyszczanie rudy uranu

Ruda uranowa jest najpierw kruszona i mielona w procesach mechanicznych oraz przerabiana i oczyszczana roztworami chemicznymi na bazie kwasu siarkowego, amoniaku, tlenku magnezowego i sody. Następnie ruda jest płukana, filtrowana i spiekana w piecach.

Stały koncentrat U_3O_8 , zwany po angielsku yellow cake (dosłownie „żółtym ciastem”), zawiera około 75 % uranu. Koncentrat w tej postaci jest wysyłany z kopalni do zakładów konwersji, w których poddawany jest kolejnym procesom przerobu chemicznego

Przygotowanie do wzbogacenia

Wydobyta ruda uranu jest oczyszczana i przy pomocy kwasu azotowego, rozdrabniana i spiekana do postaci U_3O_8 tzw. yellowcake.

W tej postaci (stabilnej, 75% uranu) koncentrat jest transportowany do zakładów wzbogacania



Przerób rudy uranowej



**Zakład przerobu rudy w Akouta. Cominak. Niger. Afryka.
Copyright AREVA / J.M. Taillat.**

Konwersja rudy uranowej

W stadium yellow cake uranowi jeszcze wiele brakuje, aby się nadawał na paliwo do reaktora jądrowego. Proces konwersji U_3O_8 może być realizowany w jednym albo w dwóch etapach, a produktem pośrednim może być UO_3 albo UF_4 .

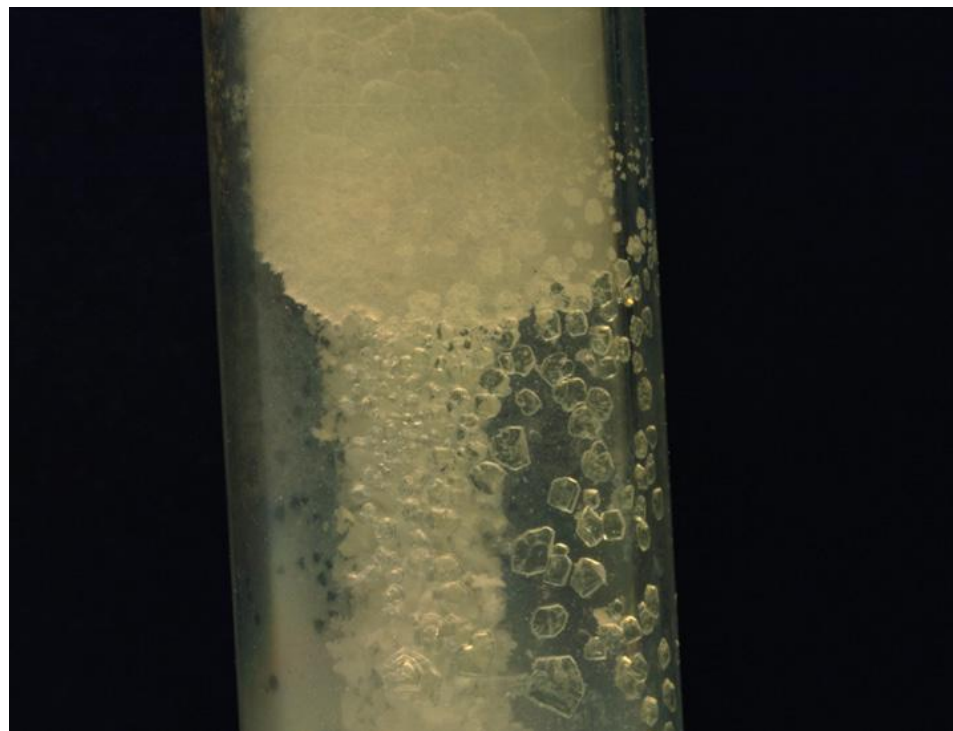
Wariant technologiczny procesu konwersji uranu z wykorzystaniem fluorowania umożliwia wyższy stopień oczyszczenia produktu. Na przykład, z U_3O_8 usuwa się ślady boru albo kadmu, poprzez rozpuszczenie w kwasie azotowym i mieszaniu roztworu w kolumnie, której wysokość wynosi kilkadziesiąt metrów.

Otrzymany zostaje najpierw UF_4 , a następnie UF_6 . UF_6 zamienia się w gaz przy temperaturze około $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Konwersja uranu



Granulat uranu w postaci UF₄.
Copyright AREVA / E. Cervo



Kryształy uranu w postaci UF₆.
Copyright AREVA / Y. Geoffray
($T < 60^{\circ}\text{C}$)

Zasada wzbogacania

Aby można było uruchomić reaktor wodny, w paliwie musimy zwiększyć zawartość izotopu U 235, która w uranie naturalnym wynosi 0,7 %, do poziomu 3-5 %. Mówi się o wzbogacaniu uranu w izotop rozszczepialny.

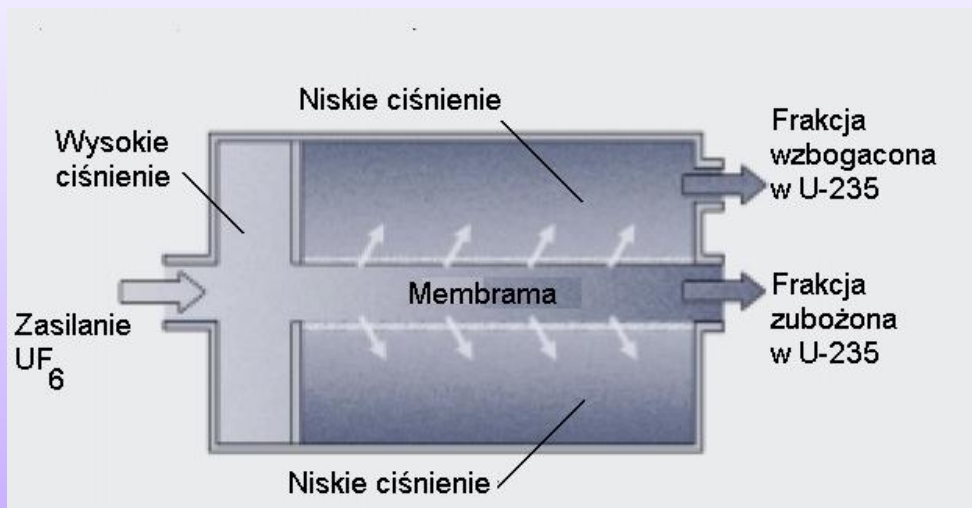
W oparciu o gazowy UF_6 , w zakładzie wzbogacania metodą rozdzielania izotopowego wytwarza się z jednej strony uran wzbogacony (około 16 % początkowej objętości wsadu UF_6 , przy wzbogaceniu w U 235 do 3,5 %), a z drugiej strony uran zubożony (około 84 % objętości wsadu UF_6).

Wzbogacanie

Wzbogacenie LWR (PWR, BWR) od 1,6% do 6%;

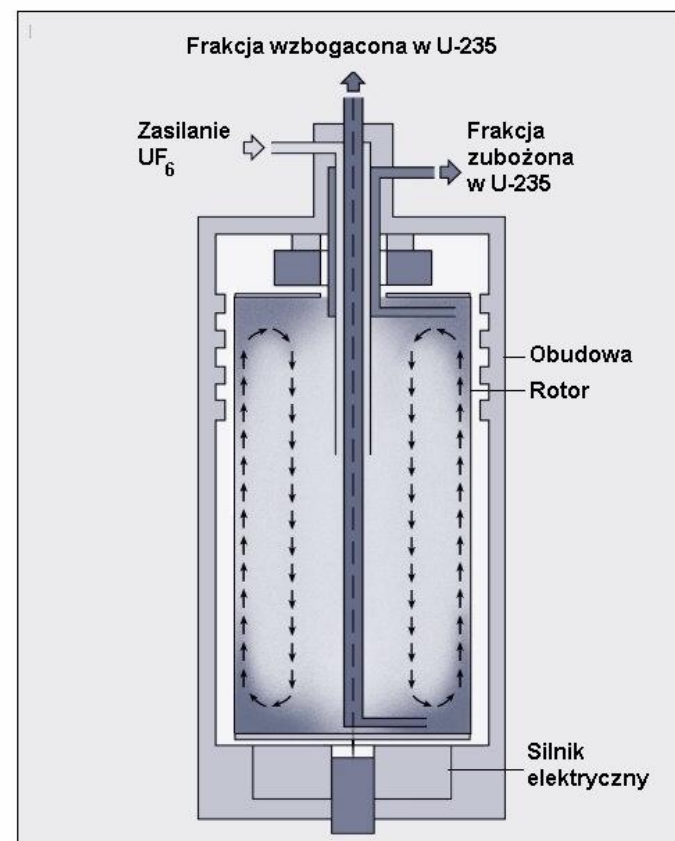
Do wzbogacania uran jest podawany w postaci sześćiofluorku uranu - UF_6 w temperaturze $>60^\circ\text{C}$

W tej temperaturze UF_6 jest gazem.



Moduł dyfuzyjny

Wirówka



Wzbogacanie - dyfuzja

Dyfuzja gazowa jest pierwszą technologią, która doczekała się wdrożenia przemysłowego na dużą skalę na świecie. Trzy główne elementy wchodzą w skład pojedynczego elementu rozdzielającego:

- ❑ dyfuzor: jest to zbiornik, wewnątrz którego zamontowane są równolegle bardzo liczne ściany porowate, rozdzielające atomy $U\ 235$ od atomów $U\ 238$ zawartych w gazie;
- ❑ sprężarka: zapewnia cyrkulację gazów uranu zubożonego i uranu wzbogaconego;
- ❑ wymiennik ciepła: odprowadza ciepło wytwarzane przez sprężanie.

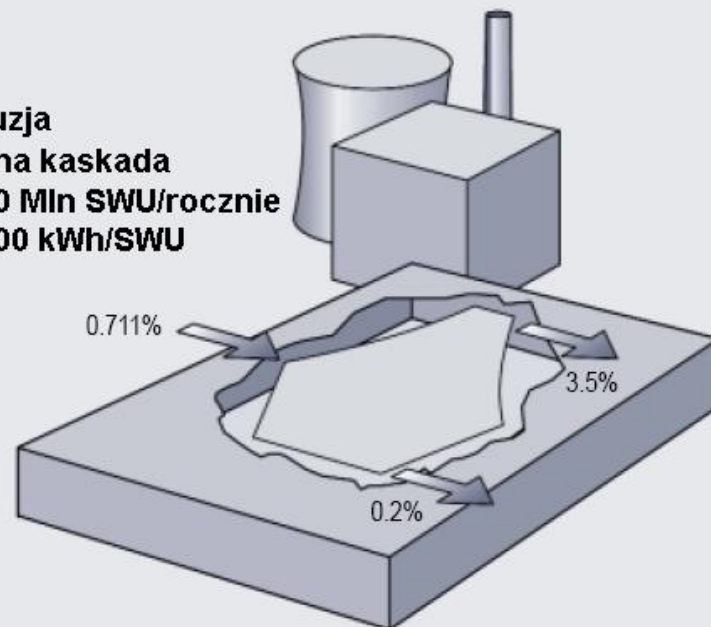
Wzbogacanie

Porównanie technologii wzbogacania.

Produkcję zakładu wzbogacania mierzy się w tzw. SWU - (Separative Work Unit)

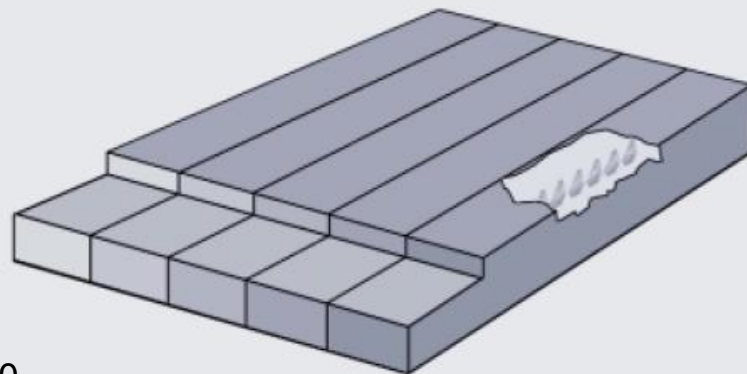
Dyfuzja

- jedna kaskada
- 6-10 Mln SWU/rocznie
- 2 400 kWh/SWU



Wirówki

- 50 kaskad
- 10 Mln SWU/rok
- < 50 kWh/SWU



Wzbogacanie - wirówki

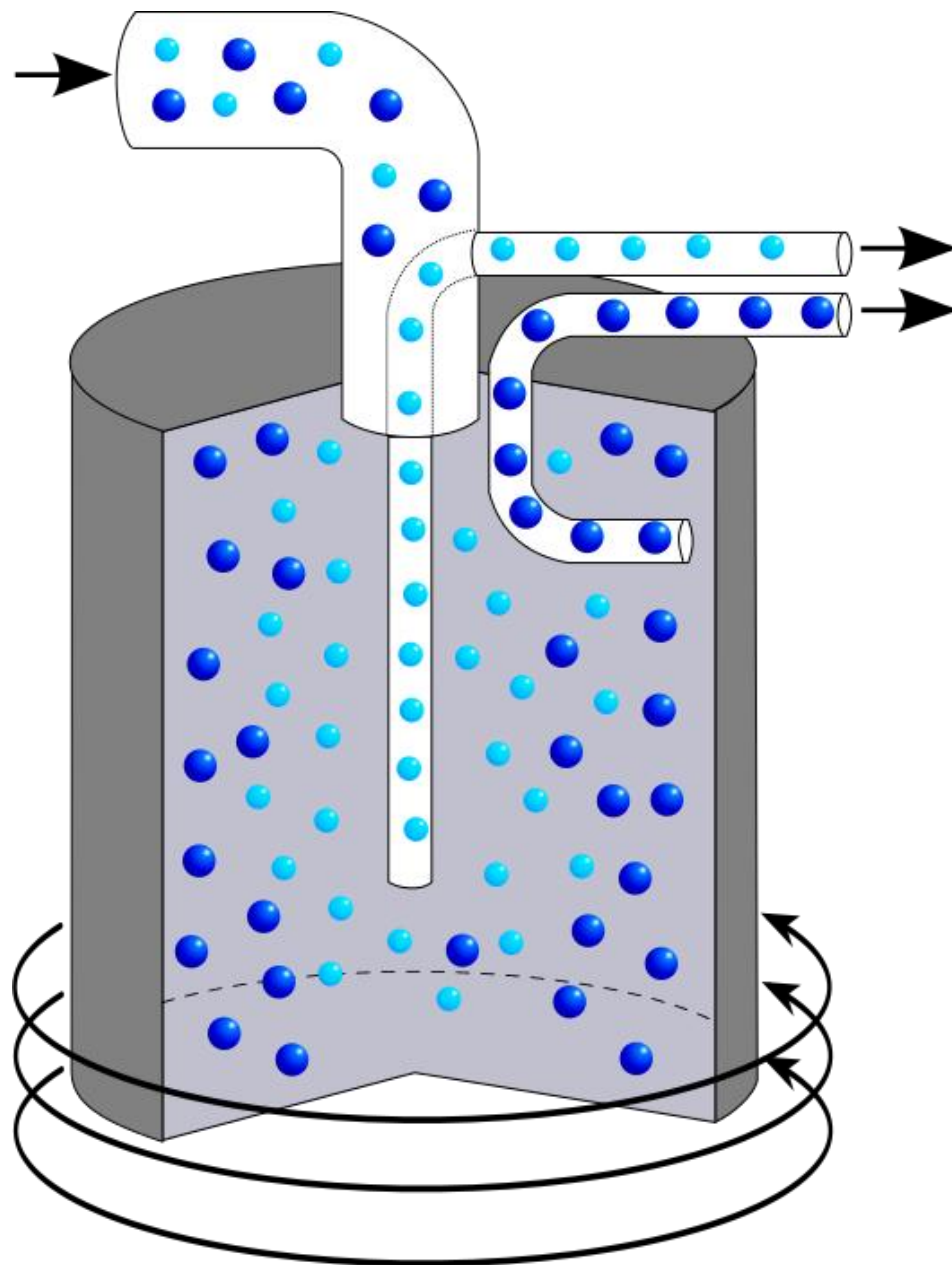
Metoda wirówkowa jest technologią sprawdzoną od ponad trzydziestu lat w Holandii, w Niemczech i w Wielkiej Brytanii. Ostatnio metoda ta rozwinęła się dzięki postępowi technologii materiałów kompozytowych.

Proces wymaga znacznie mniejszej liczby stopni rozdziatu, aby osiągnąć poziom wzbogacenia porównywalny z wynikami dyfuzji gazowej.

Rozdzielanie izotopów następuje w wirujących z dużą prędkością pojemnikach cylindrycznych zawierających UF₆. Pod wpływem siły odśrodkowej, cząstki cięższe zbierają się na obwodzie, podczas gdy lżejsze migrują do środka, powodując rozdzielenie się izotopów.

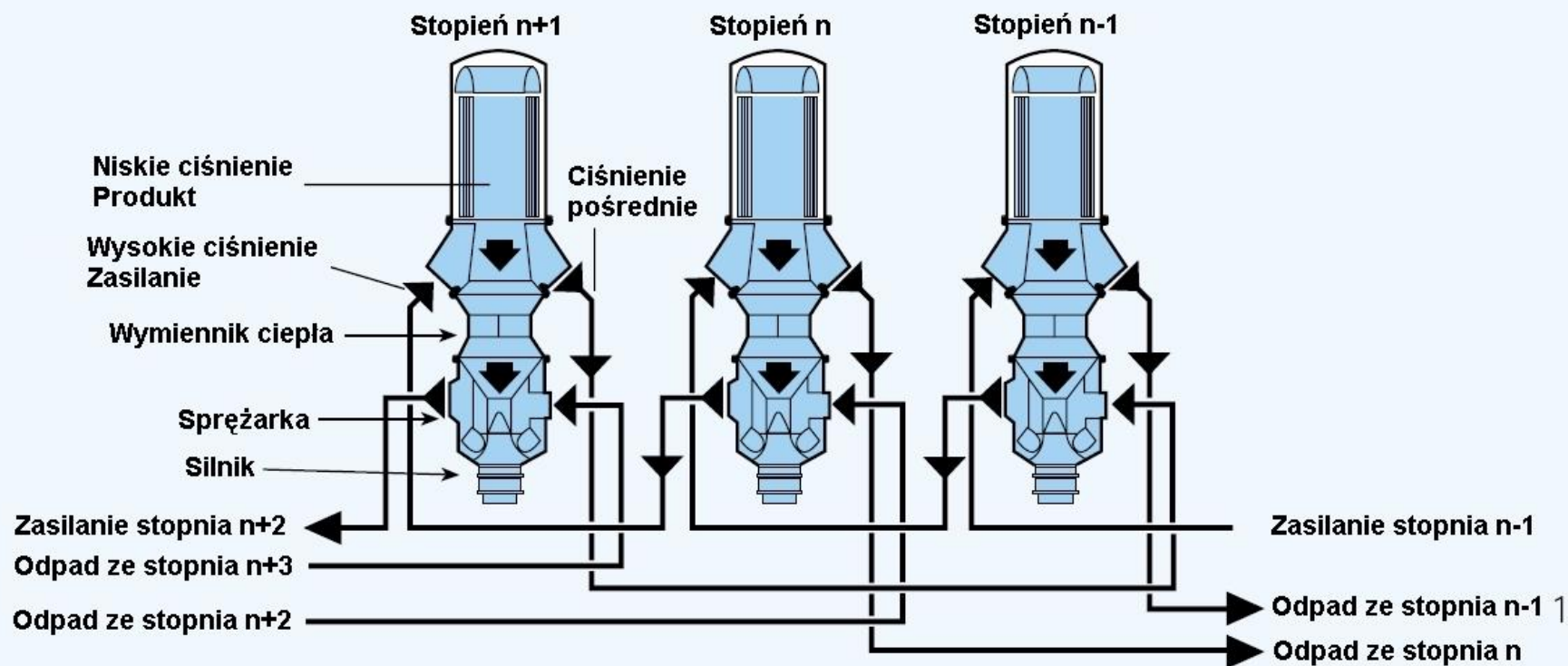
Wirówka wzbogacająca

Schemat wirówki
do rozdzielania
izotopów UF_6



Wzbogacanie

KASKADA UKŁADÓW WZBOGACAJACYCH



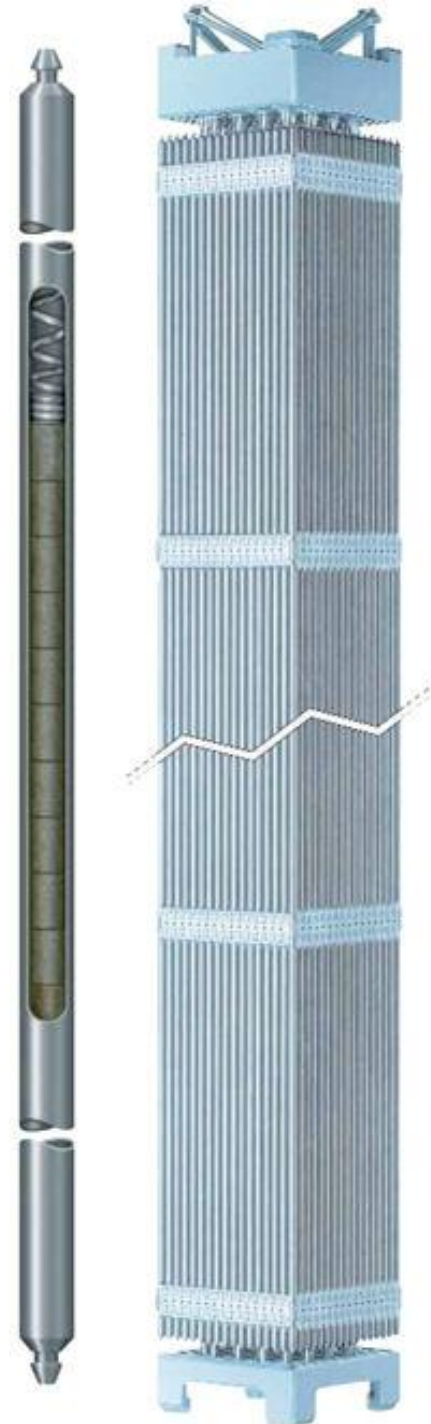
Wzbogacanie - koszty

Przykład:

Zakład Georges-Besse, działa od 1979 roku z wykorzystaniem technologii dyfuzji gazowej. Zakład zużywa bardzo dużo energii elektrycznej, w tym całą produkcję trzech spośród czterech reaktorów jądrowych 900 MWe elektrowni jądrowej Tricastin, zlokalizowanej w sąsiedztwie. Energia elektryczna stanowi aż 60 % kosztu tej technologii wzbogacania. Pokrycie rocznych potrzeb reaktora PWR o mocy 900 MWe wymaga około 100 000 SWU, po 5 SWU na kg uranu o poziomie wzbogacenia 3,7%.

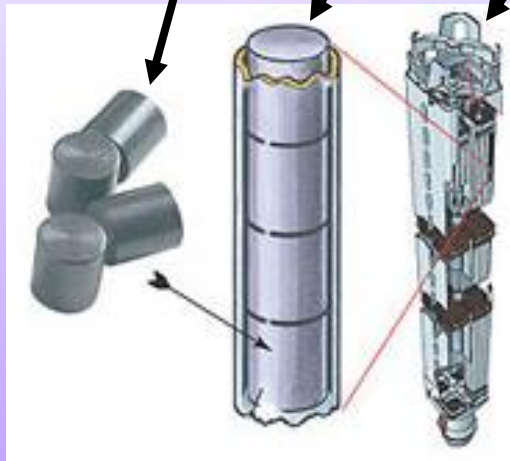
Pręty paliwowe

Zestaw paliwowy do reaktora PWR składa się z wielu tzw. prętów paliwowych. Pręty paliwowe składają się z pastylek uranu, zamkniętych w szczelnych rurkach zwanych koszulkami, wykonanych przeważnie z cyrkonu. Pręty paliwowe są zamontowane w otwartej konstrukcji, dzięki której woda może przepływać pomiędzy zestawami i prętami. Woda jest jednocześnie chłodziwem i moderatorem.

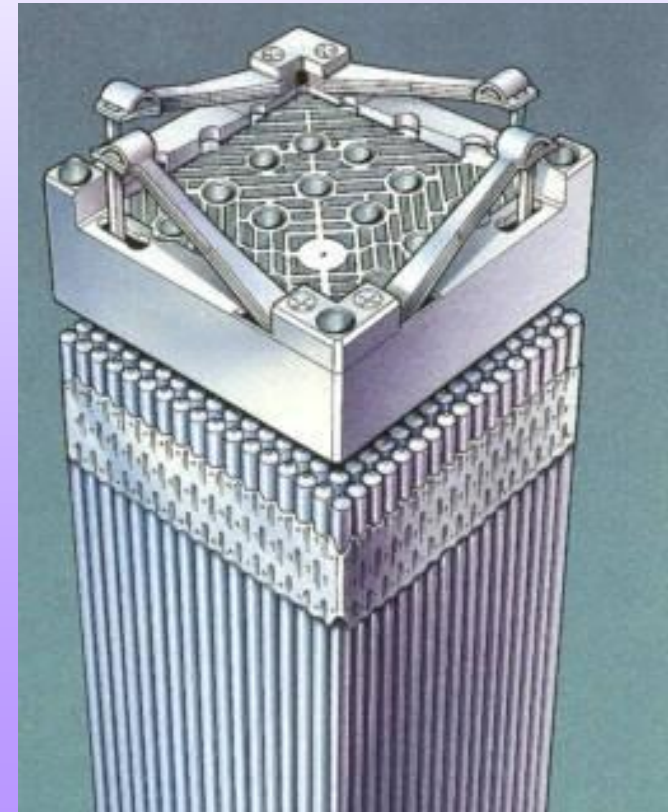
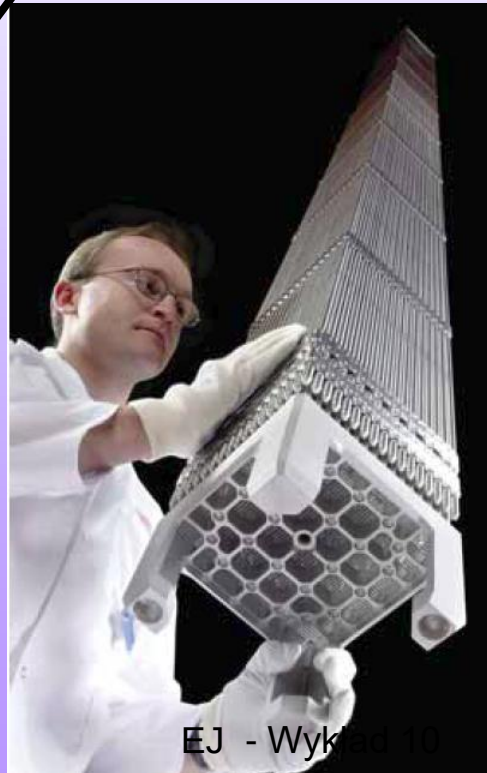


Produkcja paliwa

Po wzbogaceniu uranu jest transportowany do wytwórni paliwa jądrowego (w postaci U_3O_8) gdzie prowadzone jest oczyszczanie produktu, przetwarzanie do postaci UO_2 i wytwarzanie spiekanych pastylek. Pastylki te są następnie ładowane do rurek cyrkonowych (1%Nb) wypełnianych helem i szczelnie zamykanych. Tak wykonane pręty paliwa jądrowego są następnie montowane w kasce paliwowej.



Rozbieralne
kasety



Długotrwałość jądrowych operacji technologicznych

Pomiędzy etapem wydobywania rudy uranowej a zeskładowaniem odpadów promieniotwórczych mija kilka dziesięcioleci. Czas między wydobywaniem rudy a wprowadzeniem paliwa do rdzenia reaktora wynosi średnio 2 lata.

Po wyładowaniu z reaktora, paliwo wypalone pozostaje bardzo promieniotwórcze i wydziela ciepło (jego temperatura przekracza $100\text{ }^{\circ}\text{C}$). Paliwo wypalone musi być przechowywane przez okres około 2 lat w basenie budynku paliwowego (obok budynku reaktora), aby poczekać na spadek temperatury i promieniotwórczości.

Wypalone paliwo w cyklu zamkniętym

W cyklu zamkniętym, paliwo wypalone wysyła się do basenu przechowawczego na terenie zakładu przerobu. Przebywa w nim przez 5-8 lat, aż się ostudzi i jego promieniotwórczość spadnie. Wtedy dopiero możliwe staje się manipulowanie paliwem wypalonym, aby dokonać jego przerobu i recyklingu. Tzw. pętla recyklingu paliwa wypalonego trwa średnio 15 lat. Odpady promieniotwórcze, powstające podczas tego recyklingu, przechowuje się przez kilkadziesiąt lat, aby poczekać na ich schłodzenie i spadek promieniotwórczości; dopiero potem można rozważać ich zeskładowanie.

Ekonomika elektrowni jądrowej

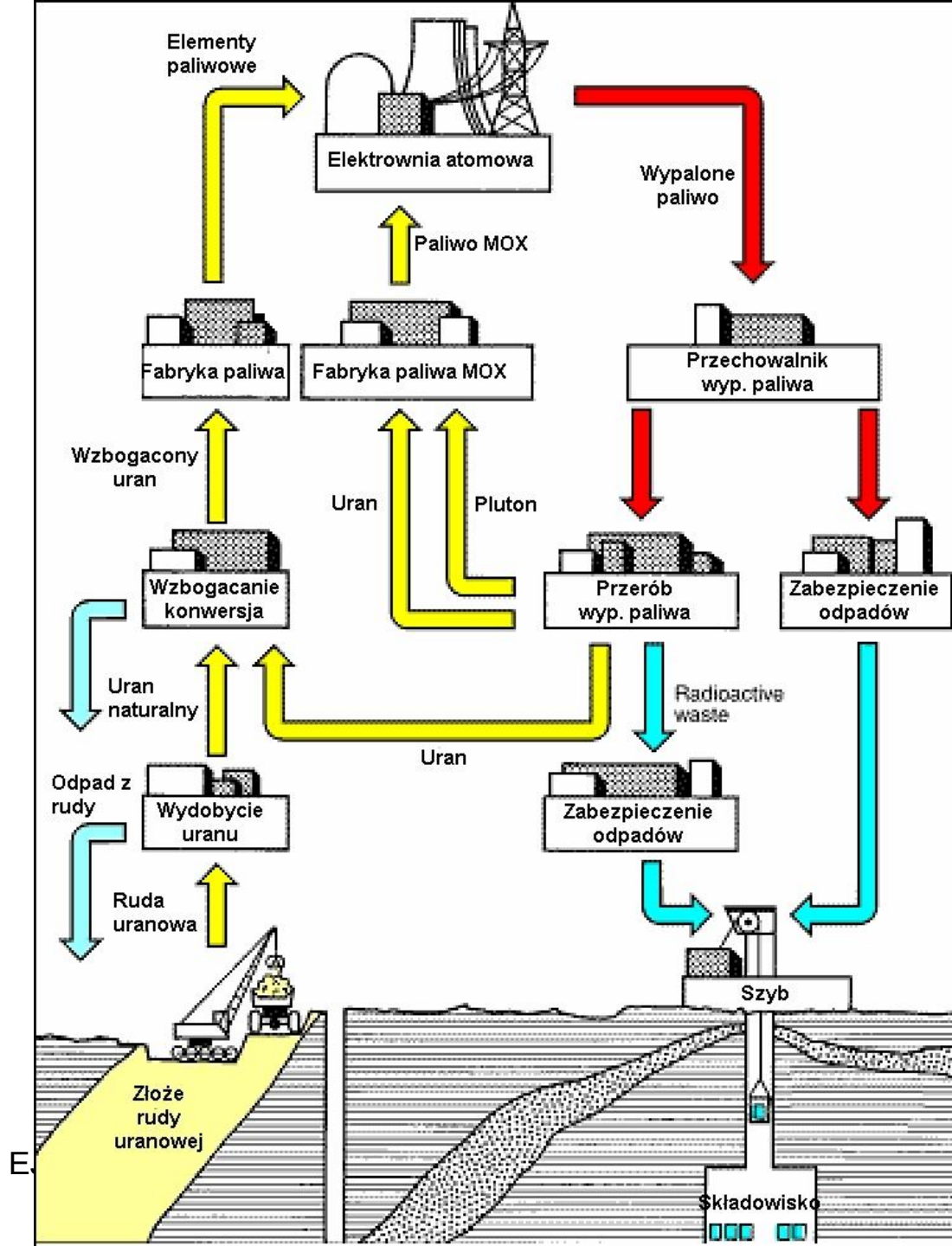
Nakłady inwestycyjne (łącznie z likwidacją) stanowią około **60 %** zdyskontowanego kosztu wytworzenia kWh energii elektrycznej przez reaktory jądrowe lekkowodne, podczas gdy koszty eksploatacyjne i remontowe stanowią około **20 %**, a wydatki związane z cyklem paliwowym kolejne **20 %**. Pod koniec 2007 roku zdyskontowany koszt samego cyklu paliwowego dzielił się na **90 %** dla operacji początkowej części cyklu i **10 %** dla operacji części końcowej. Wydatki związane z dostarczaniem uranu naturalnego stanowiły 50 % kosztu cyklu paliwowego, a wydatki związane ze wzbogacaniem – 25 %. Natomiast w zakresie części końcowej, koszt recyklingu paliwa wypalonego i gospodarki odpadami promieniotwórczymi stanowi od 2 do 6 % kosztu kWh (w zależności od przyjętej stopy dyskonta).

Cykl paliwowy reaktorów PWR i BWR

Paliwem obecnie najpowszechniej stosowanym w reaktorach lekkowodnych jest uran wzbogacony, aczkolwiek niektóre PWR pracują z paliwem mieszanym, uranowo-plutonowym. Otrzymanie uranu wzbogaconego – oprócz omówionych powyżej etapów standardowych, wymaga dwóch specyficznych etapów:

- ☐ konwersji naturalnej rudy uranowej
- ☐ wzbogacenia uranu.

16.V.2017



Napromieniowanie paliwa w reaktorze

Głębokość wypalenia paliw ładowanych do reaktora mierzy się w jednostkach oddawanej energii cieplnej na jednostkę metali ciężkich zawartych w paliwie (mówi się o tzw. masowej głębokości wypalenia) i wyraża się przeważnie w MW.d/t albo w GW.d/t (megawatodniach albo gigawatodniach na tonę).

Przedsiębiorstwa elektroenergetyczne eksploatujące elektrownie jądrowe starają się zwiększać głębokość wypalenia. Na przykład, we francuskich reaktorach jądrowych PWR głębokość wypalenia zwiększono z 33 GW.d/t w latach 90. do 49 GW.d/t w przypadku paliw UO_2 i 37 GW.d/t w przypadku paliw MOX.

Po co zwiększać głębokość wypalenia?

W reaktorze PWR, przy niezmiennionej produkcji energii, zwiększenie głębokości wypalenia pozwala ograniczyć ilość paliwa ładowanego do rdzenia reaktora, zużycie uranu naturalnego oraz ilość wyładowywanego plutonu. Zwiększenie głębokości wypalenia wymaga jednak silniejszego wzbogacenia paliwa w rozszczepialny izotop $U\ 235$.

Ilość produktów rozszczepienia zawartych w paliwie wypalonym pozostaje natomiast wprost proporcjonalna do głębokości wypalenia. Nie dotyczy to jednak plutonu ani pod względem objętości, ani pod względem składu izotopowego.

Wpływ głębokości wypalenia

Głębokość wypalenia	33 GW.d/t	52 GW.d/t
Wymiana paliwa w rdzeniu	1/3	1/5
Wytwarzana ilość energii elektrycznej przy sprawności 33%	261 GWh	412 GWh
Wzbogacenie ^{235}U w %	3,1%	4,0%

Czym jest wypalone paliwo?

Zestawy paliwowe w reaktorze uwalniają energię na skutek rozszczepienia jąder atomów. Z biegiem czasu, udział atomów rozszczepialnych maleje, a ilość produktów rozszczepienia rośnie. Niektóre z nich są tzw. truciznami neutronowymi (pochłaniają neutrony, które mogłyby posłużyć do rozszczepień).

Powstawanie plutonu, który też jest rozszczepialny, kompensuje zanik atomów rozszczepialnych – ale tylko częściowo. Zrozumiałe jest zatem, dlaczego paliwo staje się coraz mniej reaktywne, aż w końcu nie może już wytwarzać energii. Kiedy jest zużyte, musi zostać zastąpione paliwem świeżym.

Co zawiera wypalone paliwo?

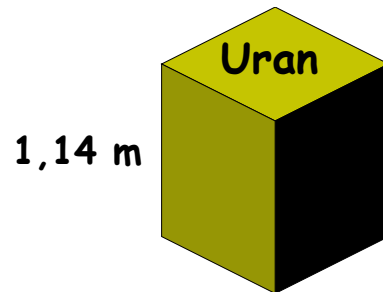
Kiedy paliwo wypalone jest
wyładowywane z rdzenia reaktora, zawiera
ono jeszcze około 95 % uranu

(aczkolwiek znacznie słabiej wzbogaconego, z domieszką izotopów nierozszczepialnych i z zawartością uranu 235 w granicach 0,8 %). Zawiera poza tym około 1 % plutonu oraz całą gamę produktów rozszczepienia (selenu 79, technetu 99, palladu 107, jodu 129, cezu 135...) i aktynowców mniejszościowych (neptunu 237, ameryku 234, kiuru 245...).

Wszystkie są wysoce promieniotwórcze, a niektóre są długożyciowe.

Ile jest wypalonego paliwa na jednostkę wytworzonej energii?

Reaktor PWR:
2,5 tony/TWh
1,25 m³/TWh

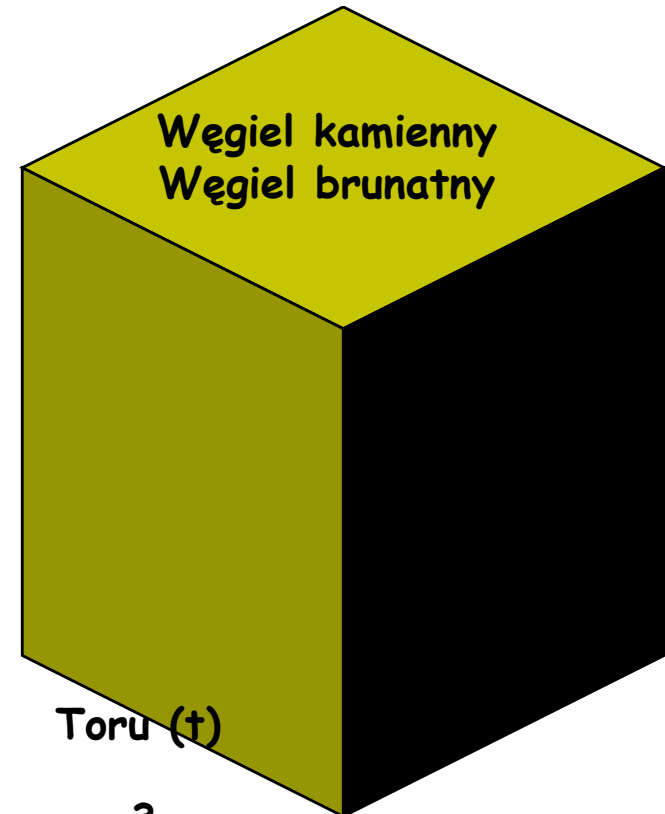


Reaktor BWR:
3 tony/TWh
1,5 m³/TWh

Reaktor HTGR:
<1,5 tony/TWh
<0,7 m³/TWh

Wypalone paliwo i odpady promieniotwórcze,

40 m w.k.
90 m w.b.



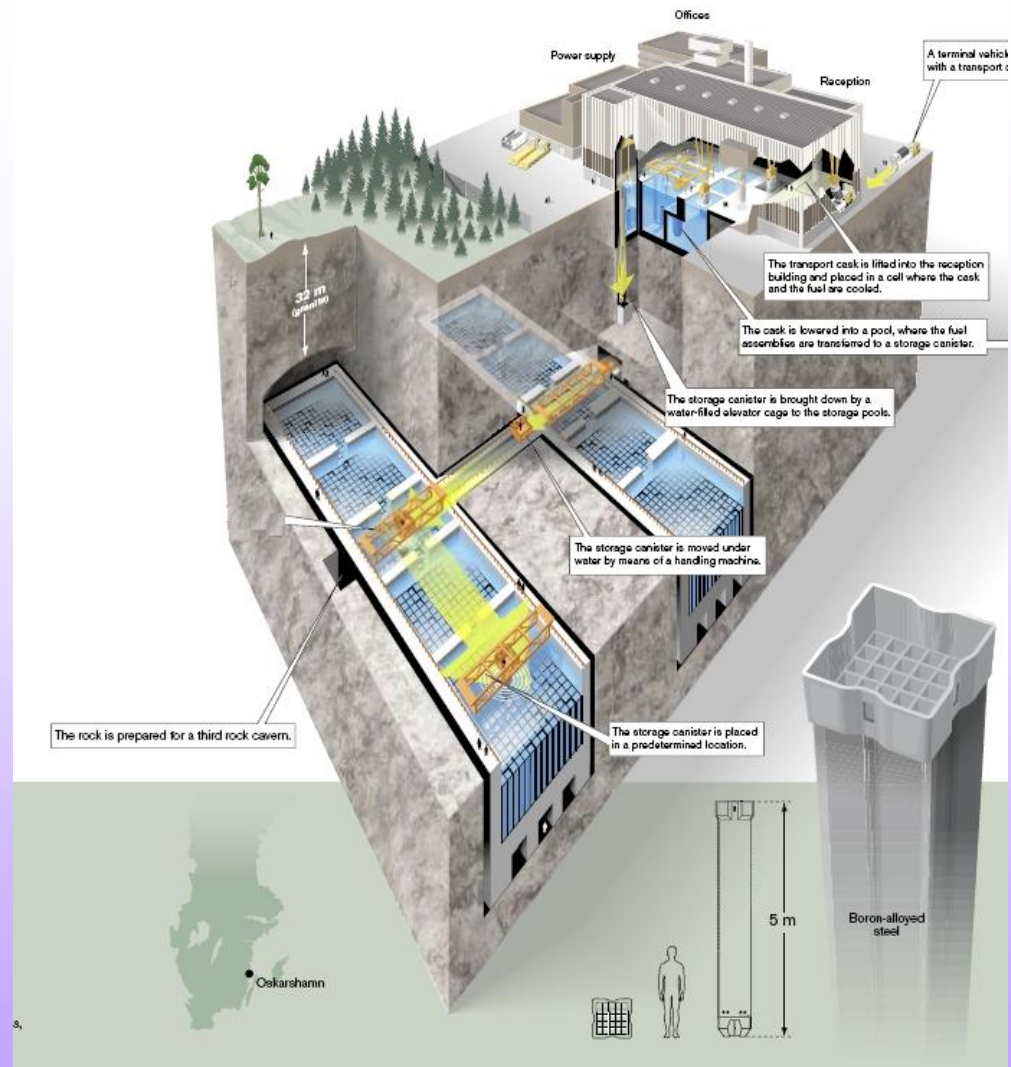
Surowiec	Ilość na 1 TWh(t)	Odpad (t)	Uranu (t)	Toru (t)
Uran	23	3		
Węgiel kamienny	400 k	100 k	~1	~3
Węgiel brunatny	1500 k	900 k	~2	~6

Postępowanie z wypalonym paliwem

Pojemnik transportowy Szwecja

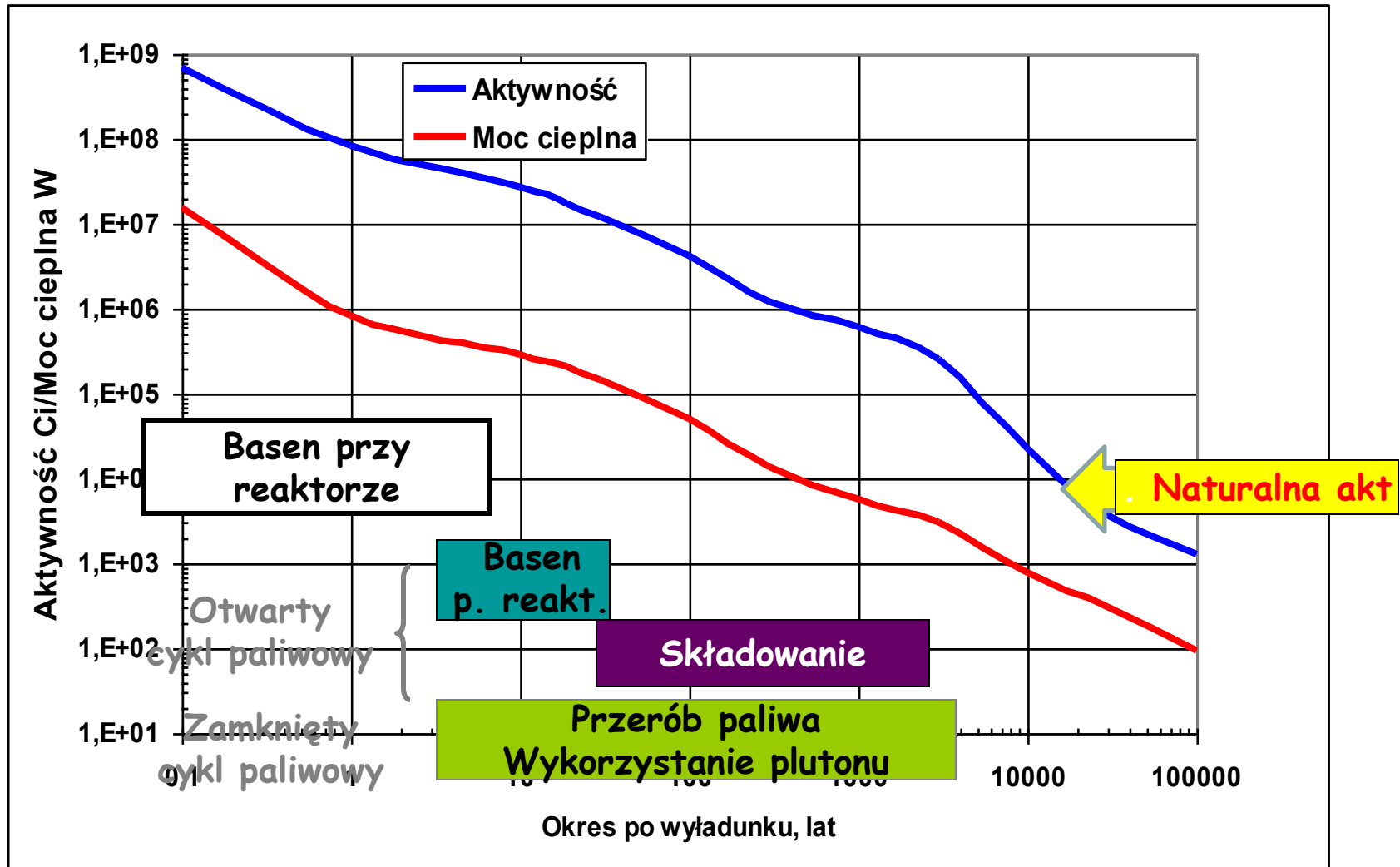


16.V.2017

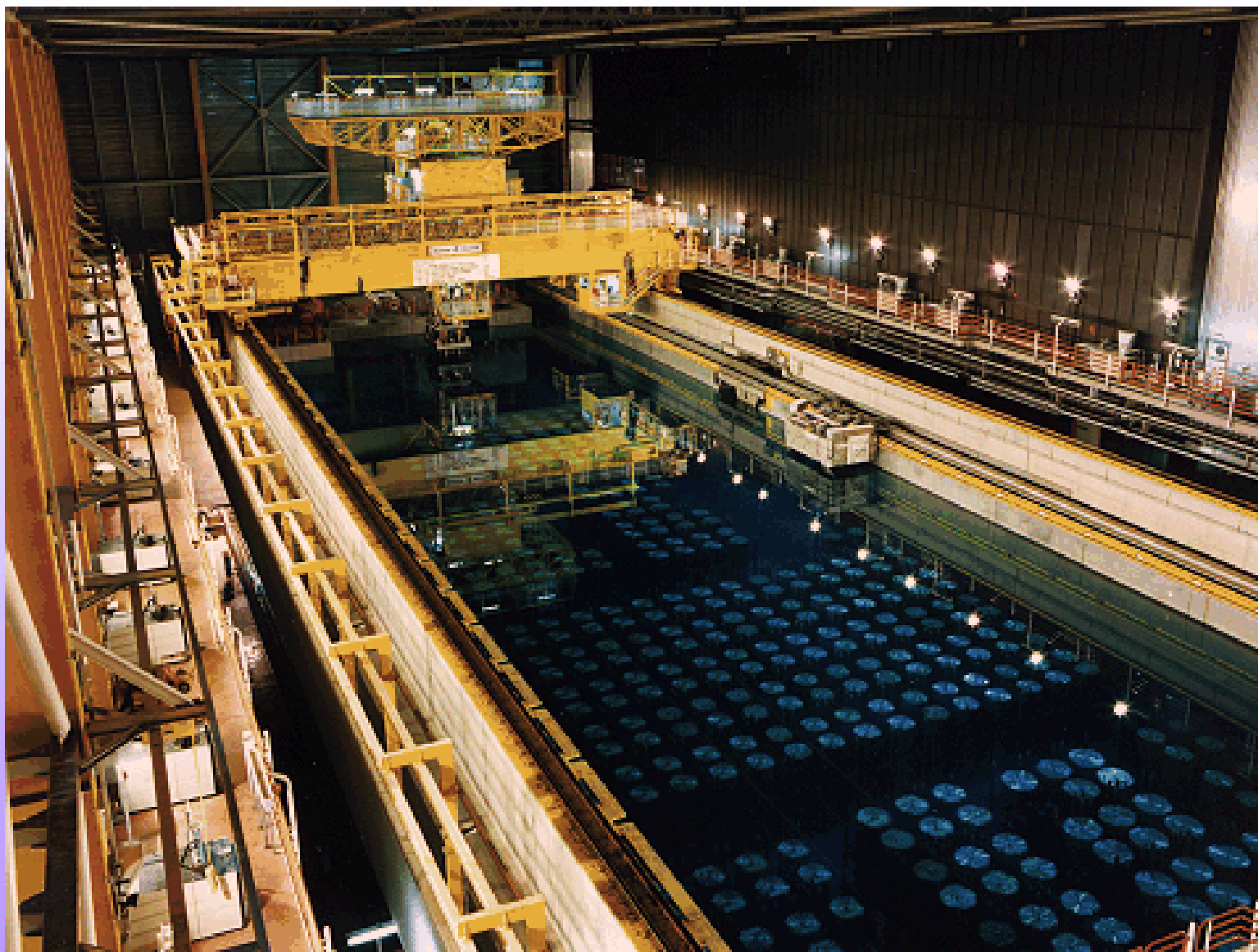


Okresowy przechowalnik wypalonego paliwa, CLAB, Szwecja

Zanik aktywności i mocy cieplnej paliwa, z którego wytworzono 1 TWh



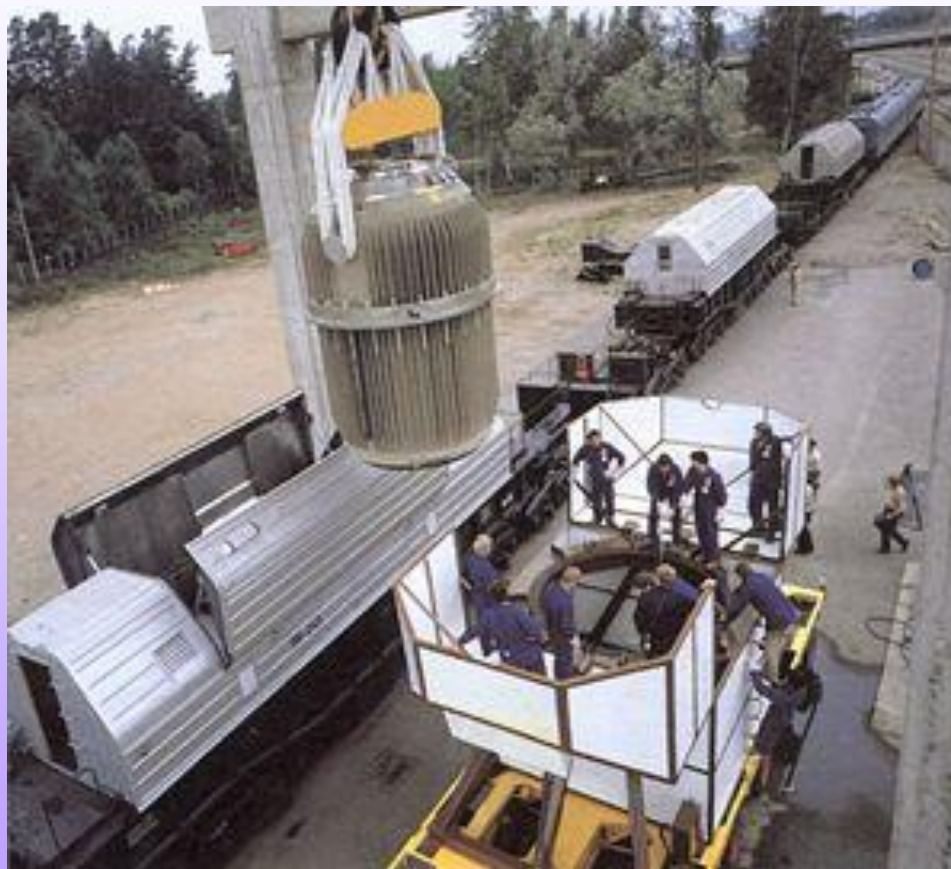
Basen z wypalonym paliwem



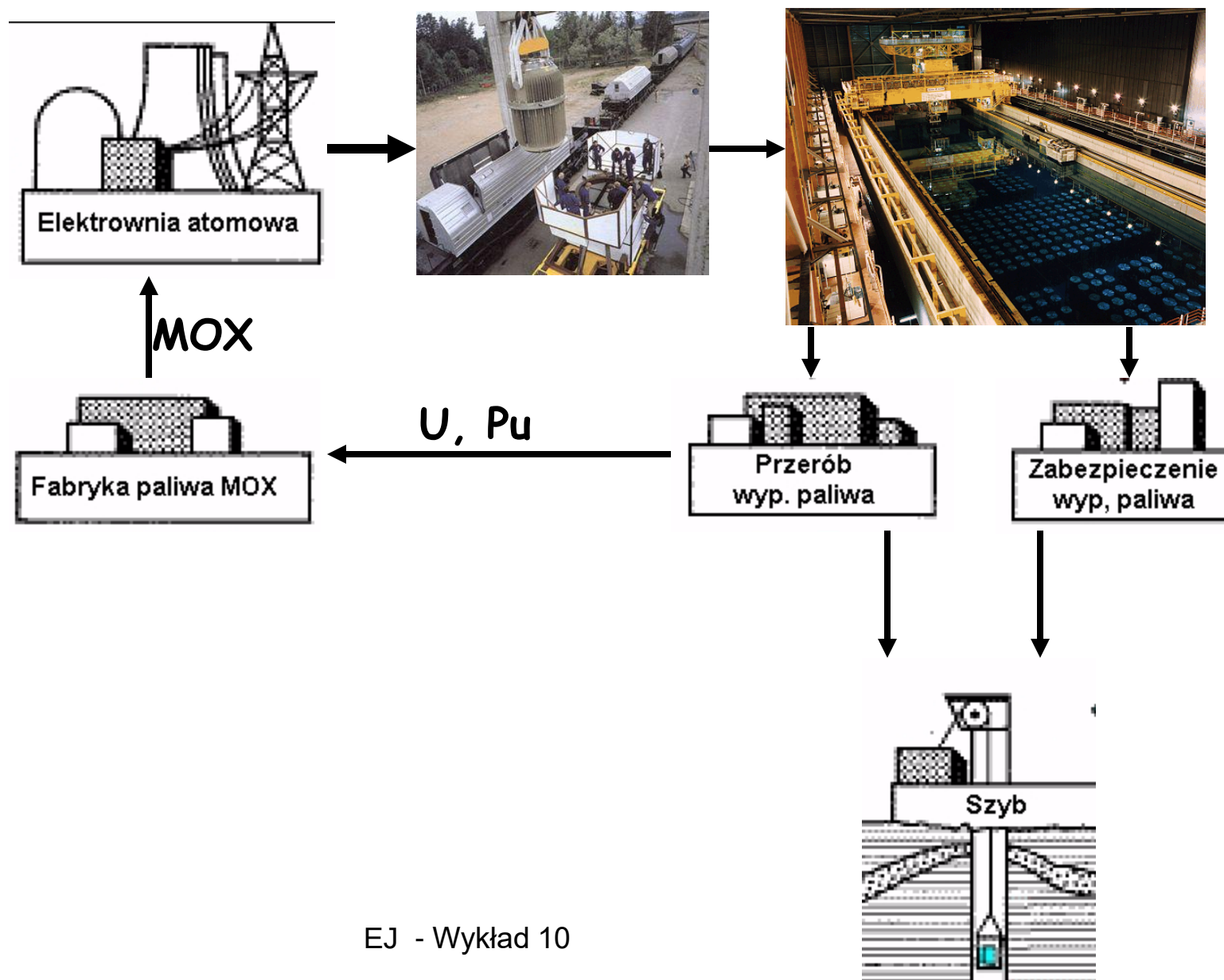
16.V.2017

EJ - Wykład 10

Transport wypalonego paliwa



Postępowanie z wypalonym paliwem



Suchy przechowalnik wypalonego paliwa



16.V.2017

EJ - Wykład 10

Recykling wypalonego paliwa UO_2 - po co?

W reaktorze pracującym na uranie naturalnym, albo nisko-wzbogaconym, pluton jest nieuniknionym produktem ubocznym rozszczepienia. Wychwytyjąc neutron, U-238 zamienia się w Pu-239, który także jest rozszczepialny, podobnie zresztą, jak Pu-241 i jego pierwiastki pochodne (ameryk, kiur, itd.).

Pluton jest głównym sprawcą toksyczności wypalonego paliwa, ale jednocześnie zawiera bardzo dużo energii potencjalnej: rozszczepienie wszystkich atomów w jednym gramie Pu dostarcza więcej energii niż spalenie jednej, czy nawet dwóch ton ropy naftowej

Zasada przerobu wypalonego paliwa

Pierwszym etapem przerobu jest recykling paliwa wypalonego. Polega on na chemicznym rozdzieleniu jego poszczególnych składników, którymi są uran, pluton, produkty rozszczepienia i aktynowce mniejszościowe.

Produkty rozszczepienia i aktynowce mniejszościowe są odpadami promieniotwórczymi, które się kondycjonuje po związaniu w bardzo odpornej osnowie ze szkła¹⁶.

Oddzielony uran, nazywany uranem z przerobu, najpierw przechowuje się w stabilnej postaci płynnej (azotan uranylu), a potem przetwarza się w stały U_3O_8 w oczekiwaniu, aż jego recykling stanie się opłacalny. Natomiast pluton przerabia się na tlenek w postaci proszku (PuO_2) i wysyła w szczelnych pojemnikach do zakładu wytwarzania paliwa MOX (Mixed OXides).

Etapy przerobu paliwa (1)

cięcie: operacja ta polega na rozdzielaniu i krojeniu prętów paliwowych na tzw. łuski o długości około 35 mm, które trafiają następnie do kadzi wypełnionej kwasem azotowym (disolwera);

rozpuszczanie: disolwer jest stale obracającym się kołem z komorami. Mniej więcej raz na dwie godziny, każda z komór wysypuje swoją zawartość (łuski z pociętych prętów, głowic i stopek) do leja prowadzącego na rampę, gdzie jest ona płukana kwasem azotowym, a następnie kondycjonowana w beczkach, w oczekiwaniu na zgniecenie. Gazy z rozszczepienia przetwarza się metodą płuczkową, a pozostałości gazowe kontroluje się przed wyemitowaniem do środowiska, w ilościach ograniczonych przez przepisy;

Etapy przerobu paliwa (2)

ekstrakcja: proces hydrometalurgiczny PUREX umożliwia rozdzielenie i oczyszczenie materiałów nadających się do recyklingu (uranu i plutonu) przy pomocy rozpuszczalnika (trójbutylofosforanu, w skrócie TBP). Proces ekstrakcji składa się z kilku stopni, obejmujących zawsze etap wymieszania oraz etap rozdziatu. Etapy te realizuje się przy pomocy kolumn pulsacyjnych, mieszalników-odstojników albo ekstraktorów wirówkowych;

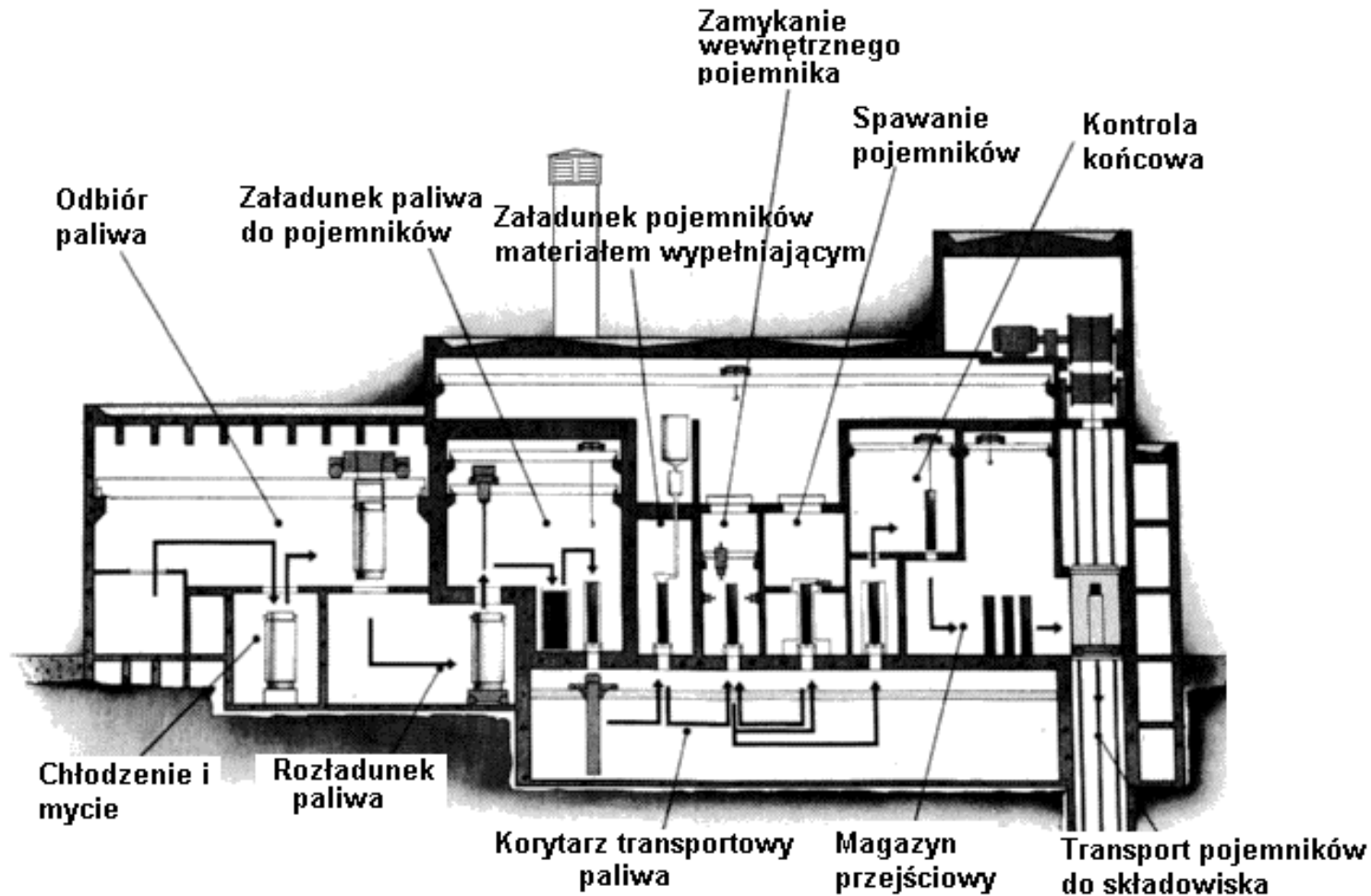
Etapy przerobu paliwa (3)

zeszklenie i kondycjonowanie odpadów promieniotwórczych oraz przechowywanie pojemników z odpadami:

produkty rozszczepienia i aktynowce mniejszościowe są prażone, a następnie wiązane ze szkłem w piecu pracującym w temperaturze 1 700 °C. Otrzymaną mieszaninę odlewa się do pojemnika, który jest przechowywany do schłodzenia przez 24 godziny, a następnie jest kontrolowany dla potwierdzenia braku skażenia na jego powierzchni. Następnie taki kontener albo trafia do instalacji przechowawczej na terenie zakładu przerobu.

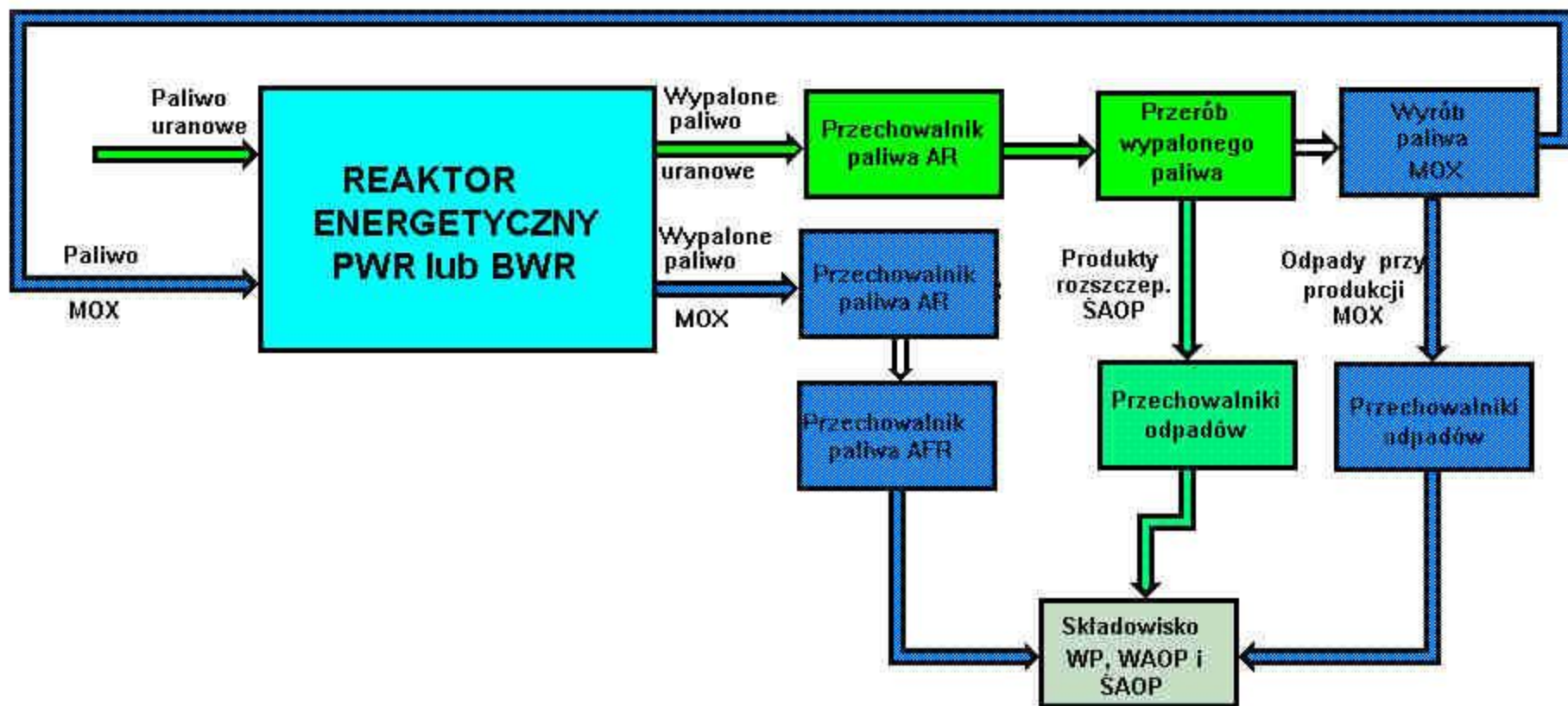
Postępowanie z wypalonym paliwem

Przygotowanie paliwa do składowania, Szwecja.

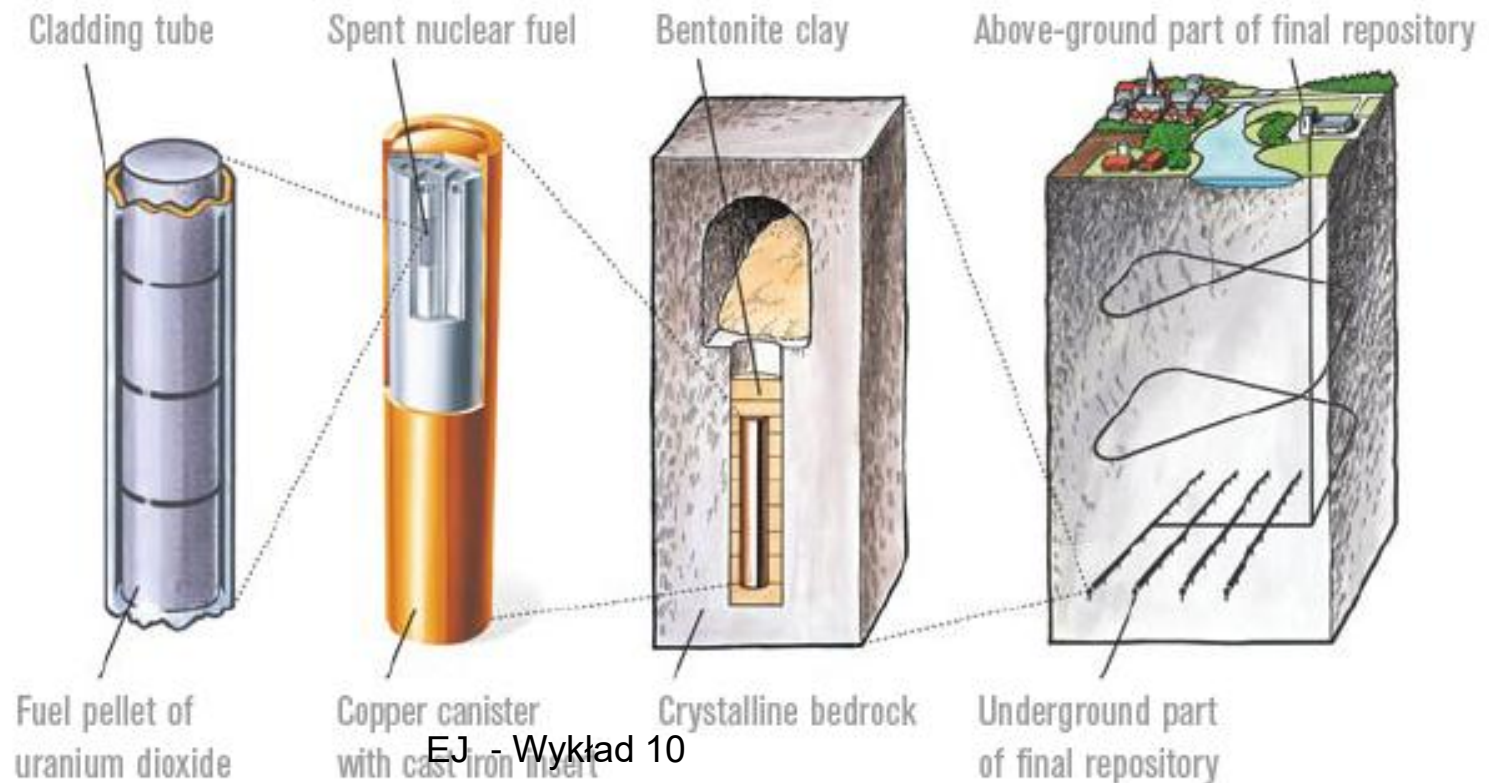


Postępowanie z wypalonym paliwem

Przerób wypalonego paliwa:



Składowanie wypalonego paliwa



16.V.2017

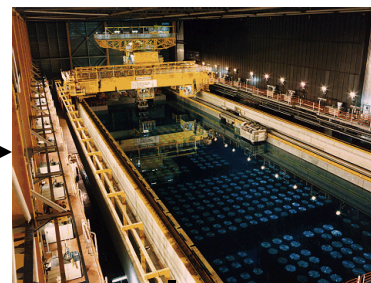
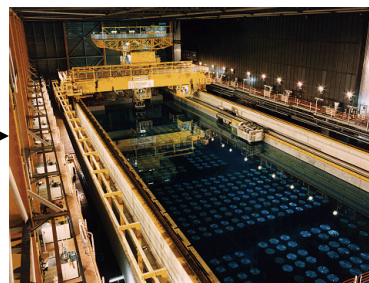
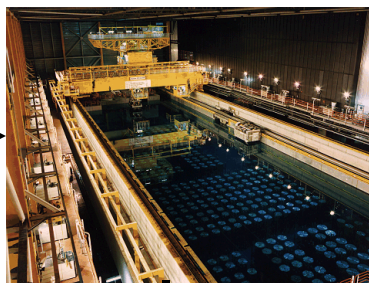
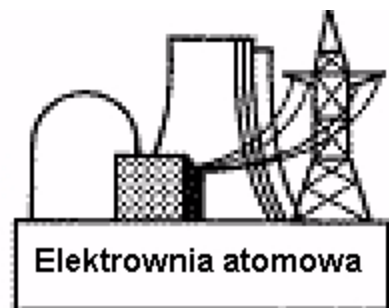
EJ - Wykład 10

Recykling paliwa MOX

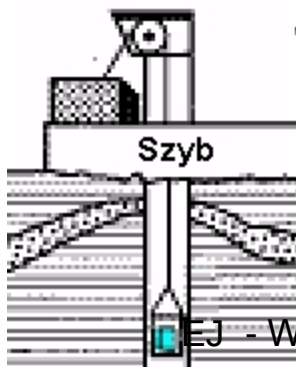
Obecnie nie prowadzi się recyklingu wypalonego paliwa MOX na skalę przemysłową, gdyż przedsiębiorstwa elektroenergetyczne nie wyrażają takiego zapotrzebowania. Wykonano jednak próby na ponad 10 tonach w zakładzie w La Hague, aby sprawdzić, czy jest to wykonalne bez istotnej modyfikacji obecnego procesu technologicznego.

Reaktory prężkie czwartej generacji powinny zostać zaprojektowane tak, aby prowadzić recykling plutonu zawartego w wypalonym paliwie MOX.

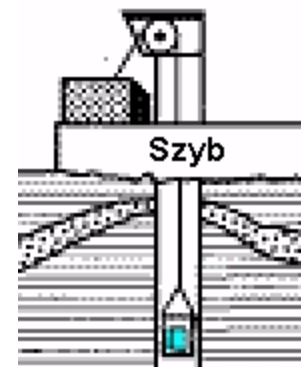
Koszt postępowania z wypalonym paliwem



Wariant 1 -W1



Wariant 3-W3

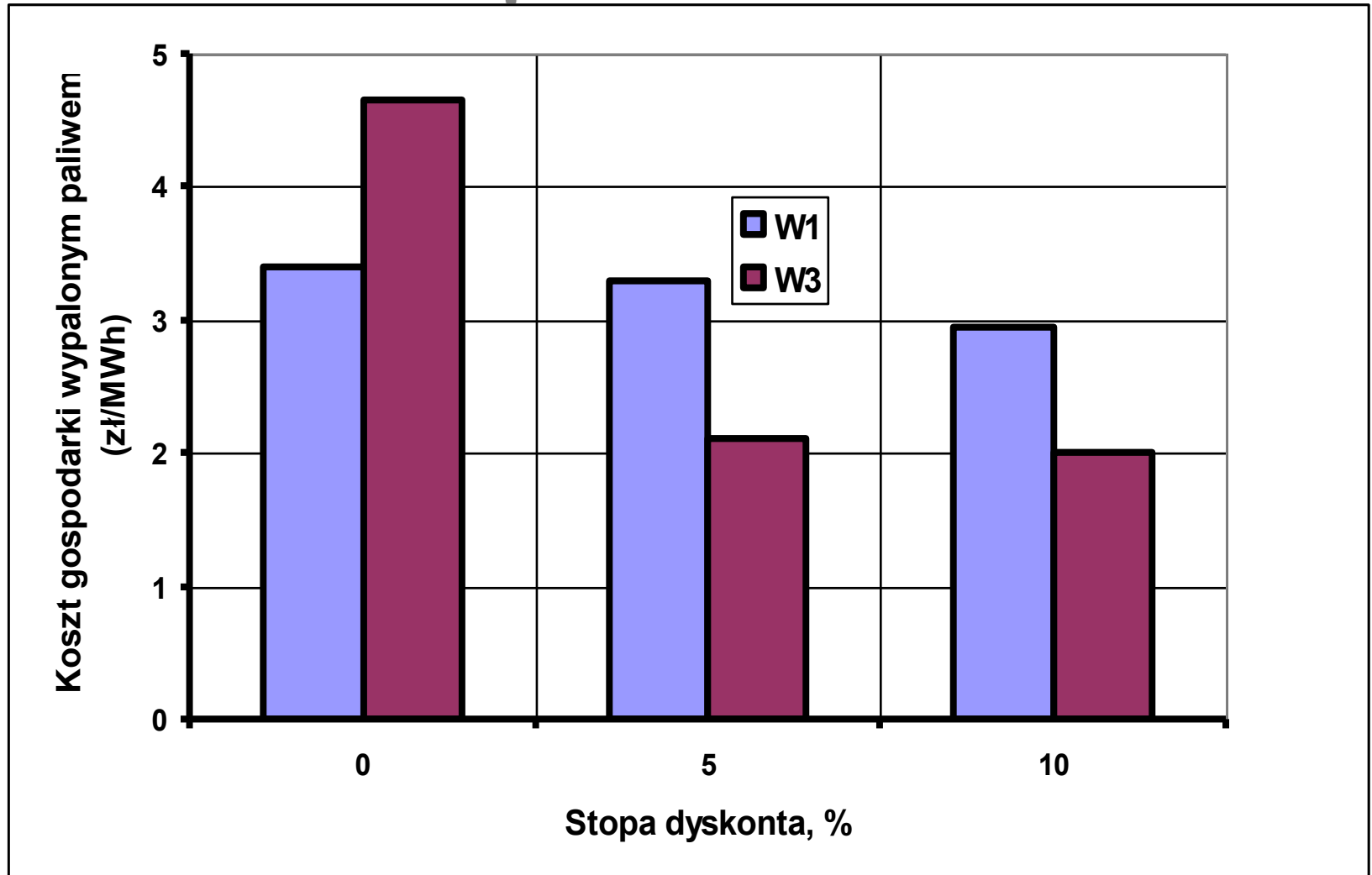


Krajowe Składowisko Odpadów Promieniotwórczych

Jedyne w Polsce składowisko odpadów radioaktywnych. Znajduje się w miejscowości Różan nad Narwią. Jest to składowisko powierzchniowe przeznaczone do ostatecznego składowania krótkożyciowych i średnioaktywnych odpadów (o okresie połowicznego rozpadu zawartych w nich radioizotopów poniżej 30 lat). Oddane do eksploatacji w roku 1961 składowisko otrzymało nazwę Centralna Składnica Odpadów Promieniotwórczych.

Składowisko odpadów radioaktywnych zlokalizowano w starym forcie wojskowym. Składowisko zajmuje obszar 3,045 ha i jest korzystnie usytuowane w miejscu tzw. wyniosłości topograficznej.

Koszt postępowania z wypalonym paliwem



Koszt postępowania z wypalonym paliwem. Opcja przerobu

