

Konferencja
ENERGIA I CZYSTE TECHNOLOGIE
Politechnika Warszawska, 12 marca 2009 roku

**Energia jądrowa jako element
zrównoważonego rozwoju naszej
cywilizacji**

Doc. dr inż. A. Strupczewski
Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej

Cechy zrównoważonego rozwoju

Jest to rozwój, który

- zaspokaja potrzeby obecnego pokolenia nie pozbawiając przyszłych pokoleń możliwości zaspokojenia ich własnych potrzeb,
- pozostaje w zgodzie z ograniczoną zdolnością ekosystemu do absorbowania skutków działalności ludzi bez szkody dla systemu.

Wg teorii „Ziemia Gaia” wysuniętej przez Jamesa Lovelocka, takim jednym wielkim ekosystemem jest Ziemia.

Źródło energii, które ma zadowolić kryteria zrównoważonego rozwoju musi

- Nie pozbawiać naszych prawnuków surowców, które oni mogliby zużyć w lepszy sposób,
- Nie zanieczyszczać biosfery
- Zadawać potrzeby energetyczne ludzkości tanio i niezawodnie.

Jak energia jądrowa oddziałuje na środowisko?

Podczas pracy EJ nie ma emisji pyłów, tlenków siarki i azotu, metali ciężkich i innych zanieczyszczeń. Nie ma oczywiście emisji CO₂

Emisje radioaktywności są minimalne, mniejsze niż z elektrowni węglowych. Moc dawki powodowana przez pracę EJ na granicy terenu elektrowni jest mniejsza niż wahania tła naturalnego

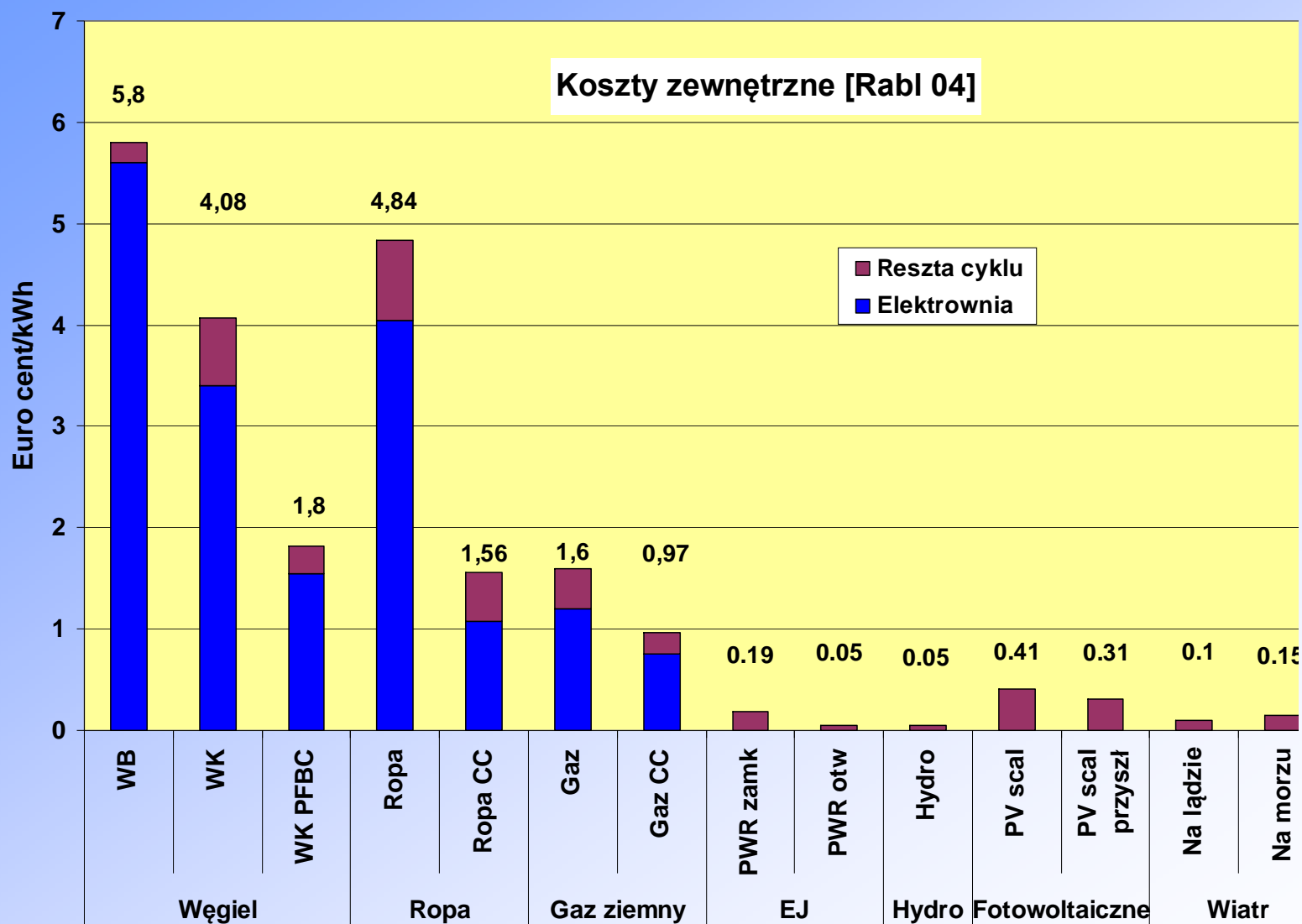
Np. średnia dawka roczna przy płocie EJ od pracy EJ we Francji to 0.01 mSv/rok, a różnica między Białostkiem a Krakowem to 0,3 mSv/rok.

Różnica między Finlandią a Polską to 5 mSv/rok – a przecież Finowie żyją o 4 lata dłużej niż Polacy!

Tak więc EJ nie powodują zmian w środowisku wykraczających poza normalne wahania tła – nie powodują szkód.

Potwierdza to studium ExternE opracowane przez kraje UE. Wyniki tego studium pokazuje następujący rysunek.

Szkody na zdrowiu i inne koszty zewnętrzne dla typowej lokalizacji w UE-15: najniższe dla EJ



PFBC-
spalanie w
złożu
fluidalnym pod
ciśnieniem,
CC- cykl
kombino-
wany,
PWR otw.
– cykl
paliwowy
otwarty,
PWR zamk.
- cykl
paliwowy
zamknięty

Wyniki studium UE: energia jądrowa należy do najkorzystniejszych dla ludzi i przyrody

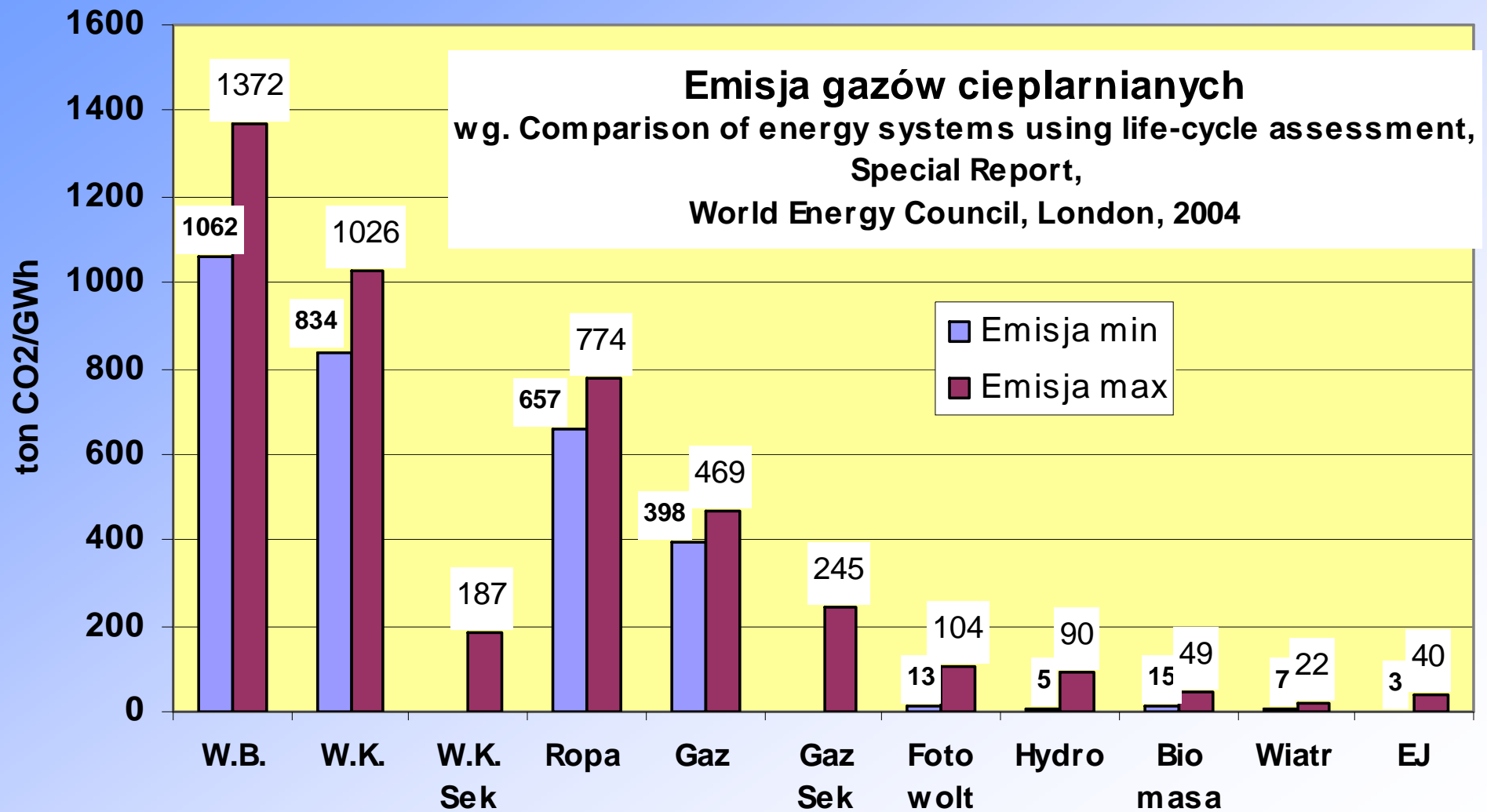
Studium ExternE, 93-2001. **Kryterium - koszty zewnętrzne**, tj koszty płacone przez społeczeństwo (za stratę zdrowia, przedwczesne zgony, zniszczenie środowiska)

- Koszty zewnętrzne oceniano dla wszystkich źródeł energii, dla całego cyklu budowy, pracy, likwidacji "od kolebki do grobu"
- Dominujący wpływ - skrócenie życia ludzi wskutek zachorowań powodowanych przez emisje zanieczyszczeń do atmosfery

Zgodne wyniki wielu krajów UE wykazały że:

- **Najniższe koszty zewnętrzne powoduje energia wiatru, energia jądrowa i hydroenergia**
- Największe – spalanie węgla i ropy.
- Średnie – spalanie gazu i użycie ogniw słonecznych.

Rola EJ w walce z CO2 wg bezstronnych ocen Światowej Rady Energetycznej



Czy energetyka jądrowa pomaga w zaspokojeniu potrzeb obecnego pokolenia?

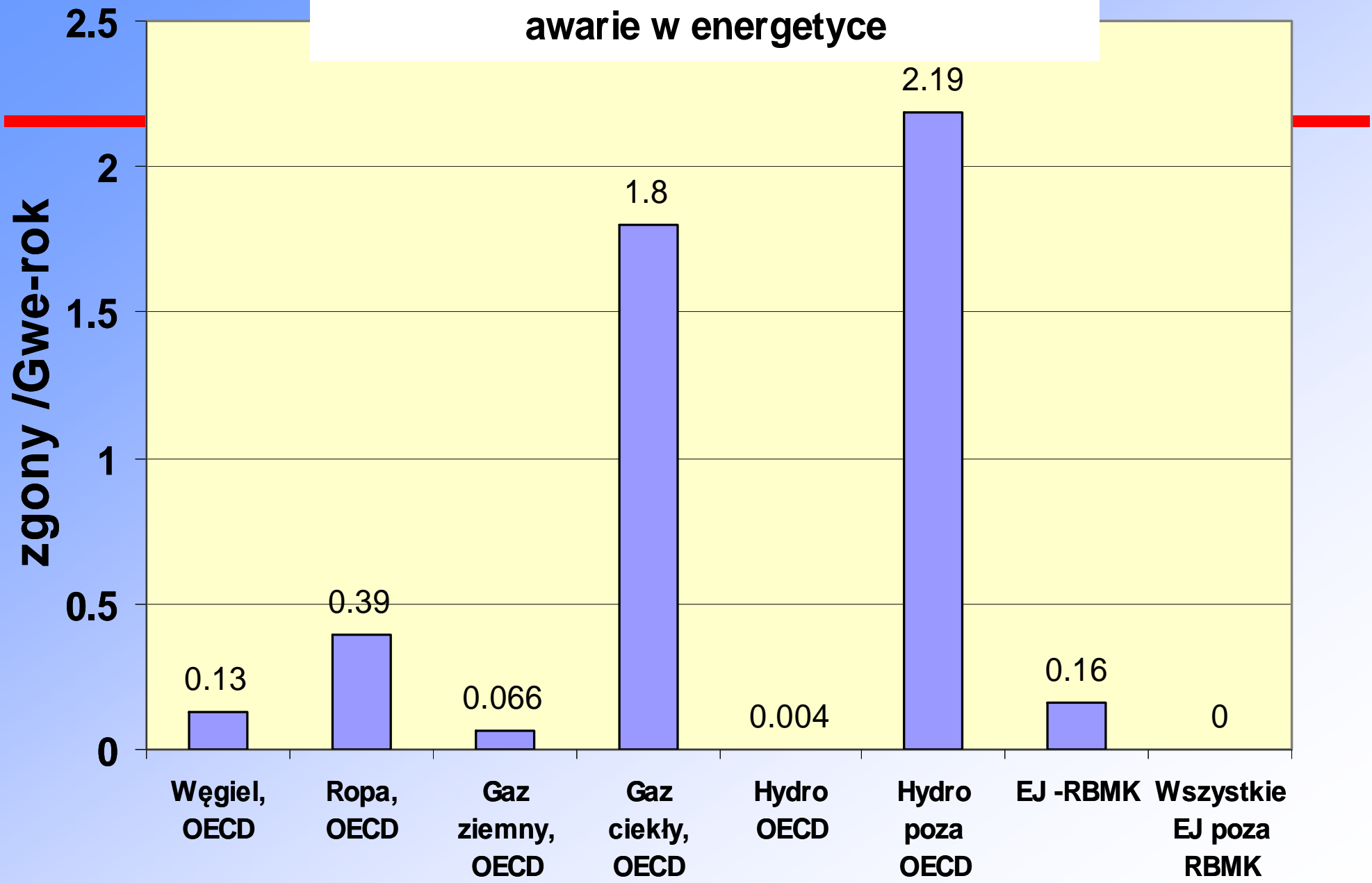
Energetyka jądrowa zapewnia czyste powietrze, wodę i glebę, a jednocześnie jest tania i niezawodna.

W ciągu 50 lat doskonalenia EJ dokonano olbrzymiego postępu w zapewnieniu ich bezpieczeństwa, redukcji emisji przy normalnej pracy i podwyższeniu niezawodności.

Reaktor w Czarnobylu był zbudowany sprzecznie z zasadami bezpieczeństwa reaktorów cywilnych, bo projektowano go w oparciu o rozwiązania reaktorów wojskowych, do produkcji plutonu klasy militarnej. Dlatego po awarii moc jego samoczynnie rosła, zamiast maleć.

W reaktorach energetycznych dla celów cywilnych w ciągu 50 lat ich pracy nikt nie stracił życia ani zdrowia wskutek awarii radiologicznej, a bezpieczeństwo przemysłowe jest wzorowe, tak wysokie jak przy pracy biurowej.

Wczesne zgony spowodowane przez ciężkie awarie w energetyce



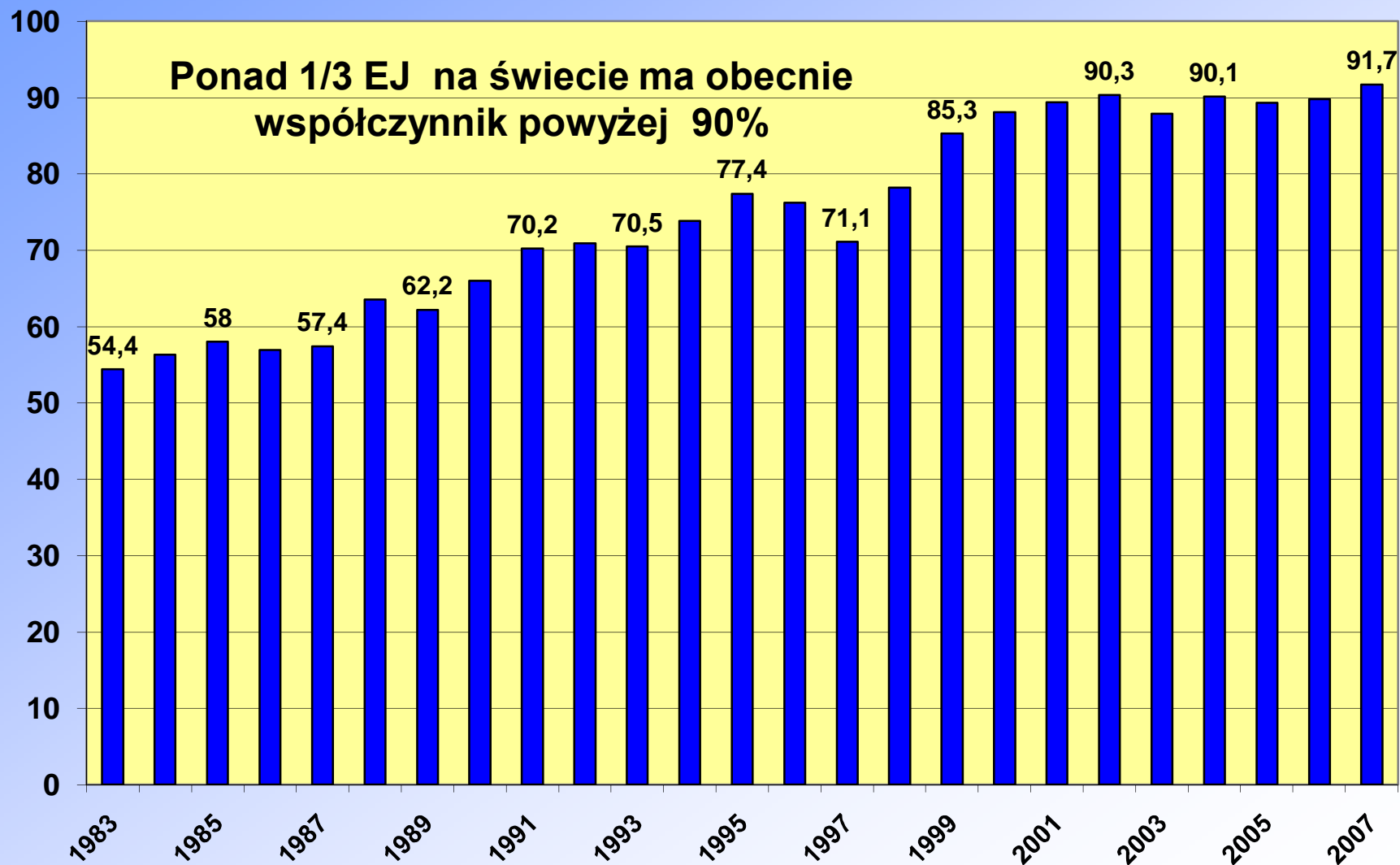
Czynniki wpływające na konkurencyjność wytwarzania energii w EJ

- Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej wzrósł z 55% w latach 60-tych do 90% i wyżej
- Zwiększono głębokość wypalenia paliwa z 30 do 60 MWd/t
- Wzrosła odporność EJ na awarie, nawet najcięższe możliwe
- Zmniejszono ilości materiałów i urządzeń na jednostkę mocy zainstalowanej, usprawniono proces budowy
- Jednocześnie wzrosły koszty ropy, gazu ziemnego i węgla.
- Energetyka jądrowa jest już konkurencyjna, a do tego dochodzą jej zalety z punktu widzenia emisji – czyste powietrze i woda.
- Do ocen ekonomicznych wprowadzono koszty zewnętrzne – tj. koszty emisji CO₂, straty zdrowia wskutek emisji dwutlenku siarki, tlenków azotu, pyłów - a to dodatkowy punkt na korzyść energetyki jądrowej.

Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej w EJ w USA

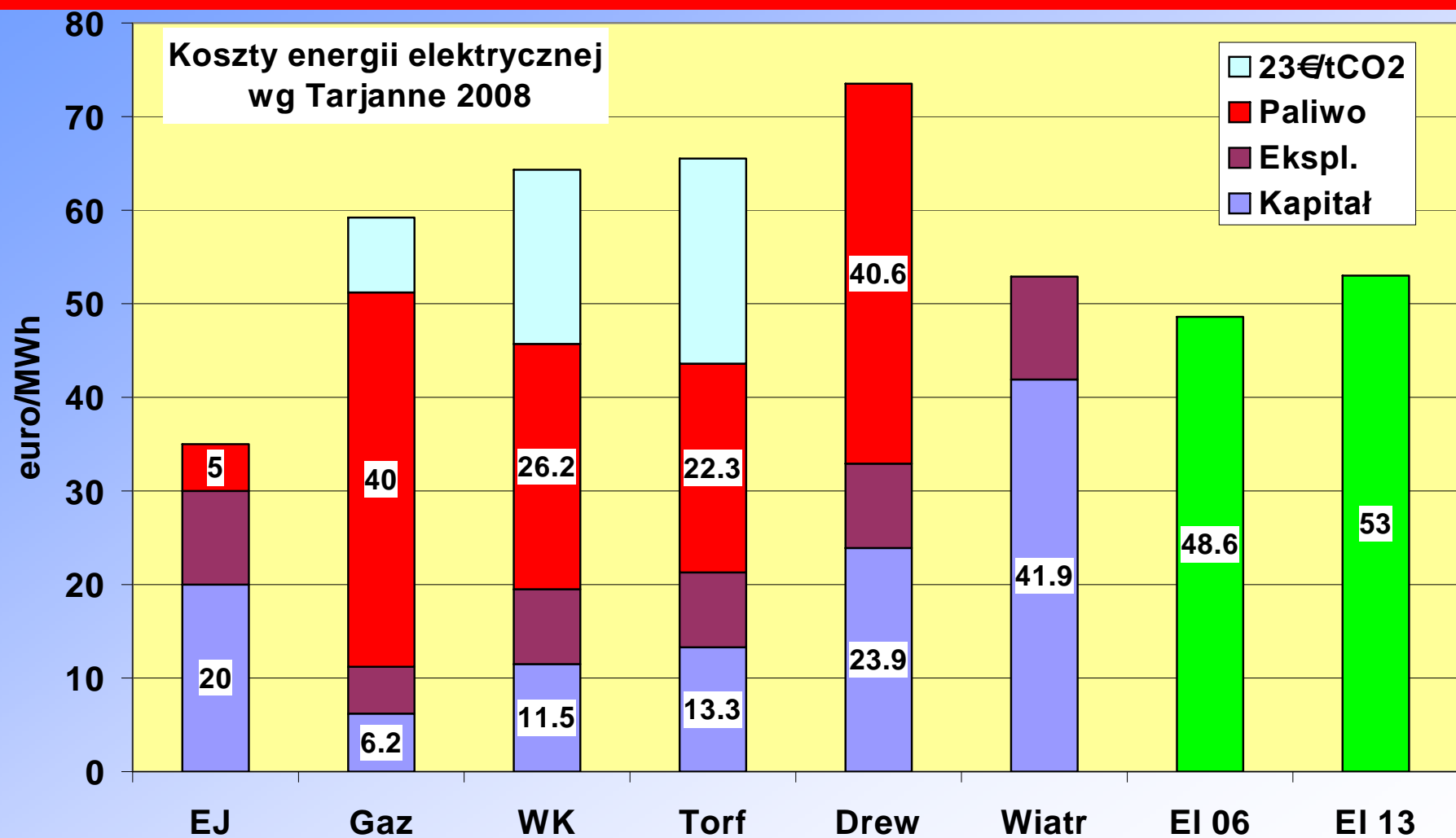
1971 - 2006

Współczynnik obciążenia dla EJ w USA



Elektrownie jądrowe dostarczają energię najtaniej

Finlandia, oprocentowanie kapitału 5%, czas pracy 8000 h/a, dla wiatru 2200 h/a



EI - rynkowa cena elektryczności w roku 2006 i 2013

Francja - koszty dla nowych EJ z EPR niższe niż dla innych źródeł energii

- Blok Flammanville 3 o mocy 1650 MWe ma powstać w ciągu 54 miesięcy za cenę **4 miliardów euro** o wartości z 2008 roku.
- Energia elektryczna produkowana z tego reaktora jako budowanego pojedynczo ma kosztować **56 euro/MWh**.
- Koszty dla bloku budowanego seryjnie wyniosą **46 euro/MWh**.
- Przy obliczaniu kosztów energii elektrycznej przyjęto stopę oprocentowania kapitału równą **8% rocznie** i zakładano, że nakłady inwestycyjne powinny zwrócić się w ciągu 40 lat, chociaż elektrownia zaprojektowana jest do pracy przez 60 lat.
- Oznacza to, że przez ostatnie 20 lat swej pracy elektrownia będzie wytwarzać energię elektryczną znacznie taniej.

Francja - Uwzględniono wszystkie koszty, łącznie z odpadami i likwidacją EJ

Projektowy współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej wynosi 91%, co odpowiada średnim współczynnikom osiąganym obecnie przez elektrownie jądrowe na świecie.

W skład kosztów produkcji energii elektrycznej wchodzi

- składki na fundusz likwidacji elektrowni i
- unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych,
- opłaty na utrzymanie dozoru jądrowego (8,5 mln euro rocznie)
- podatki miejscowe (20 mln euro od bloku Flammanville 3)
- opłaty za paliwo, utrzymanie ruchu i konserwację.

Czy energetyka jądrowa zużywa surowce, które mogłyby być lepiej wykorzystane przez przyszłe pokolenia?

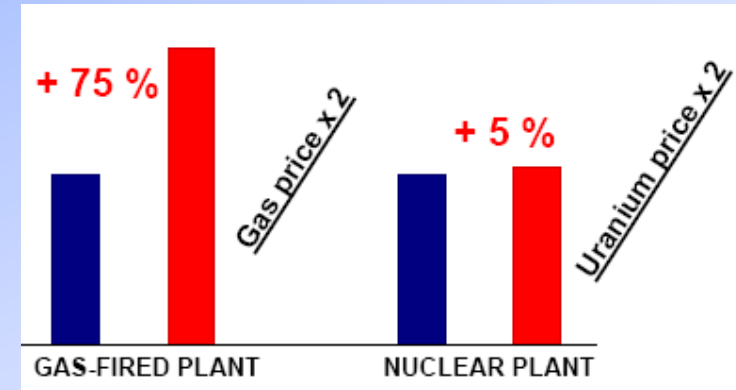
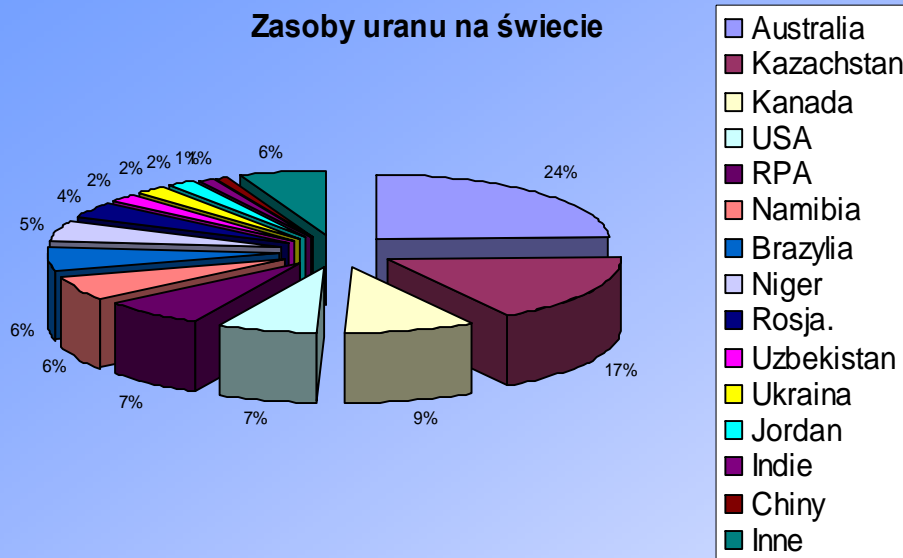
Uran jest przydatny tylko jako paliwo reaktorowe do uzyskania energii rozszczepienia. Nasi wnukowie też nic innego z nim nie zrobią. Jest to zasadnicza różnica w stosunku do ropy, gazu ziemnego lub węgla.

Po wprowadzeniu prędkich reaktorów powielających ilość materiałów rozszczepialnych nie będzie malała a przeciwnie będzie rosła w toku pracy reaktorów.

Takie reaktory powielające pracują już od wielu lat i są stale doskonalone. Dziś jeszcze ekonomicznie nieopłacalne, mają w ramach programu doskonalenia reaktorów IV Generacji zacząć pracę jako jednostki demonstracyjne w latach 20-tych i wejść do energetyki w połowie XXI wieku.

Jakie mamy zasoby uranu opłacalne do wydobycia po cenie do 130 USD/kg(U)?

Zasoby uranu na świecie



Kategoria zasobów	Zidentyfikowane	Wszystkie konwencjonalne	Konwencjonalne i niekonwencjonalne, (fosfaty)
Reaktory LWR/ Obecny cykl otwarty.	100	300	1690
Prędkie reakt. powielające. recykling Pu.	3070	8990	56 680
Prędkie reaktory powielające, recykling uranu i aktynowców.	24 000	71 000	472 000

EJ dostarcza energię elektryczną po stałej cenie, niezależnie od wahań cen na światowym rynku surowcowym. Pomaga to w utrzymaniu stabilności cen energii, co sprzyja zrównoważonemu rozwojowi.

Czy Polska się nie uzależni energetycznie kupując paliwo od innych krajów?



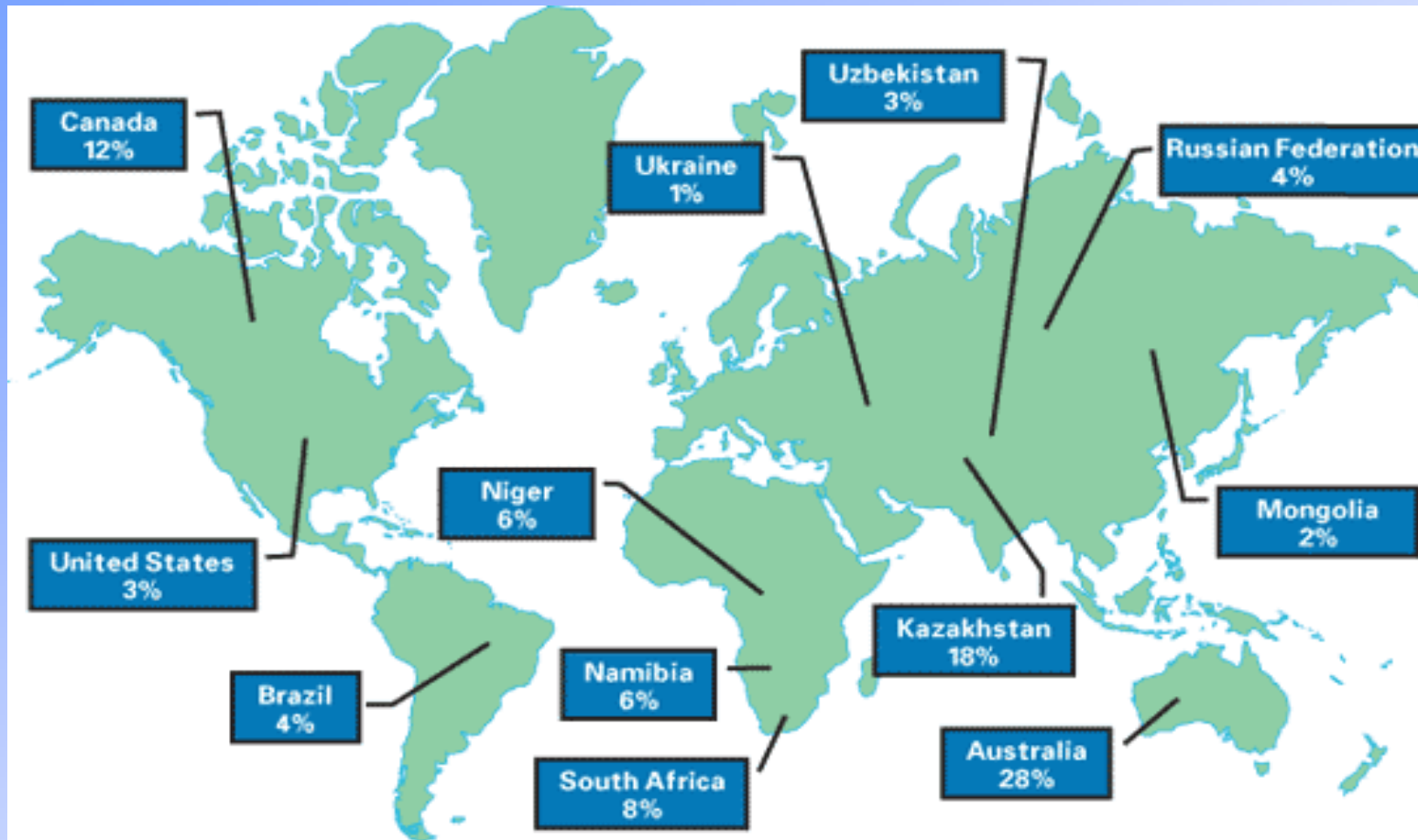
Ilość paliwa dla EJ jest mała,

640 kg of U-235 , co odpowiada paliwu o wadze około **25 ton**

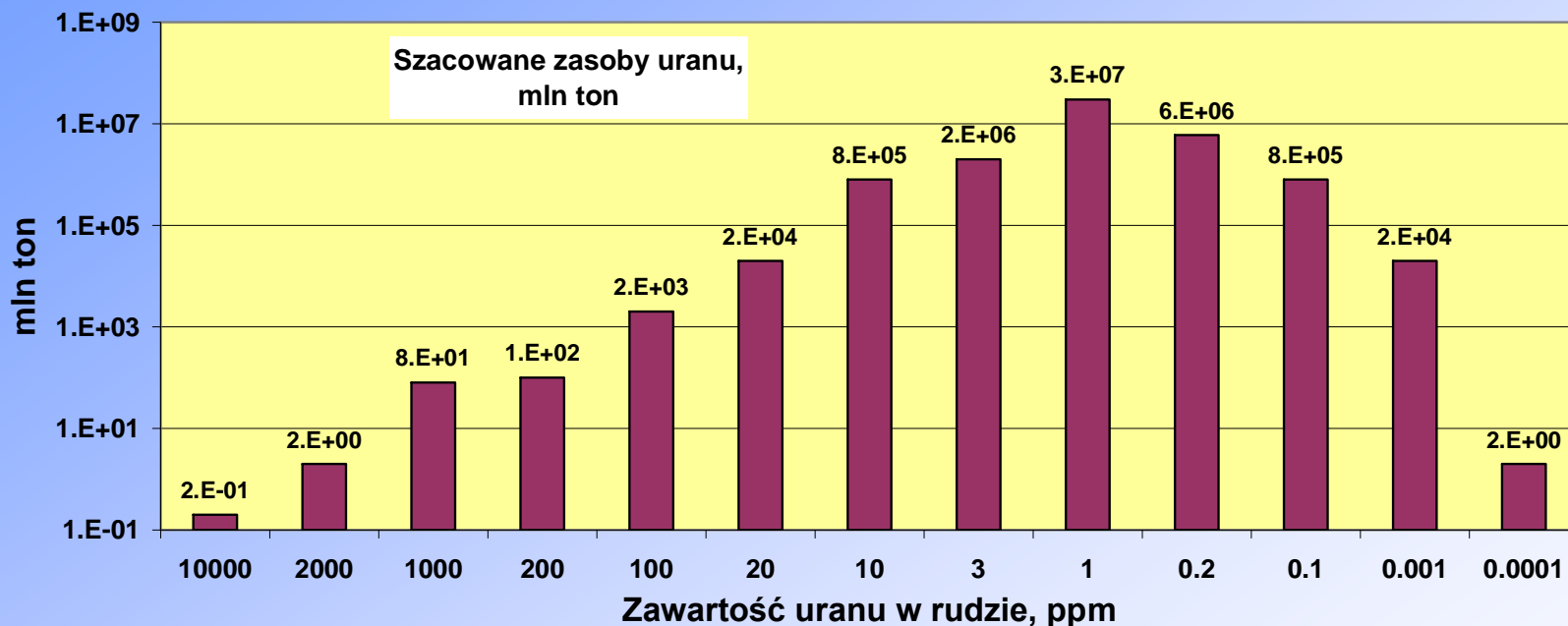
tzn. około 1 ciężarówka na rok do EJ 1000 MWe.

- Do elektrowni węglowej o tej samej moc potrzeba byłoby **3 000 000 ton** węgla.
- Tak małe ilości paliwa jądrowego można łatwo składować na kilka lat.
- Producentów paliwa jest wielu. Można też dostawcę zmieniać, jak to zrobili np. Czesi dla EJ Temelin
- Wzbogacanie uranu prowadzą USA, Francja, W. Brytania, Rosja, a kraje które nie chcą podlegać żadnej kontroli budują reaktory CANDU, mogące pracować z uranem naturalnym, bez wzbogacania.

Uran wydobywany jest w krajach stabilnych politycznie. Nie grozi nam szantaż ze strony Australii czy Kanady



Ile mamy na świecie uranu w złożach o różnej zawartości U3O8?



Dalsza eksploracja i wyższe ceny spowodują wzrost znanych zasobów w miarę zużywania obecnie rozpoznanych złóż. W miarę jak rozpatrujemy coraz uboższe złoża, ilość uranu możliwego do wydobycia rośnie.

W granicach od 1% do 0,0001% U3O8 przy obniżeniu zawartości uranu w rudzie 10 razy ilość łączna jego zasobów rośnie średnio o 2 rzędy wielkości.

Kluczową sprawą dla oceny zasobów uranu jest więc stwierdzenie, przy jakiej zawartości uranu w rudzie opłaca się go jeszcze wydobywać

Nakłady energetyczne w jądrowym cyklu paliwowym - energia na pozyskanie uranu jest małą częścią bilansu

Wydobycie i oczyszczenie rudy - 230 t/yr U ₃ O ₈ w kopalni Ranger	1.56 PJ (th)
Konwersja (dane firmy ConverDyn z 2000 r)	9.24 PJ (th)
Wzbogacanie: wirówki @ 63 kWh/SWU	3.26 PJ (th)
Produkcja paliwa (ERDA 76/1)	5.76 PJ (th)
Budowa i eksploatacja EJ (ERDA 76/1)	4.69 PJ (th)
Przechowywanie paliwa, przechowywanie i transport odpadów promieniotwórczych (ERDA 76/1, Perry 1977, Sweden 2002)	1.5 PJ (th)
Likwidacja EJ (dane firmy Ontario)	6.0 PJ (th)
Łącznie (wzbogacanie wirówkowe)	52 PJ (th)
Produkcja energii elektrycznej: 7 TWh/rok	3020 PJ (th)
Łącznie (energia włożona do otrzymanej)	1.7%

Ubogie rudy można wykorzystywać – a mamy je również w Polsce.

Z rudy zawierającej 0.013% Uranu otrzymuje się 275 razy więcej energii niż zużywamy na jej wydobycie i oczyszczenie

Jeśli nawet na rekultywację kopalni potrzeba będzie drugie tyle energii – a jest to mocno zawyżone – to i tak bilans jest niewątpliwie dodatni.

Złóża rudy uranowej w Polsce zawierają od 250 do 1100 ppm uranu, podczas gdy bardzo dochodowe kopalnie wykorzystują rudę o zawartości 300 ppm (np. Rossing w Namibii), a nawet 126 ppm (Trekkopje w Namibii).

W skali całej Polski łączne zasoby rozpoznane i prawdopodobne to około 100 000 ton uranu naturalnego. Zasoby zidentyfikowane wynoszą:

- $\Sigma = 7270$ t U – dość na 45 lat pracy EJ o mocy 1000 MWe,
- a zasoby prognozowane to $\Sigma \sim 100'000$ t U co wystarczy na ponad 625 lat pracy EJ o mocy 1000 MWe.

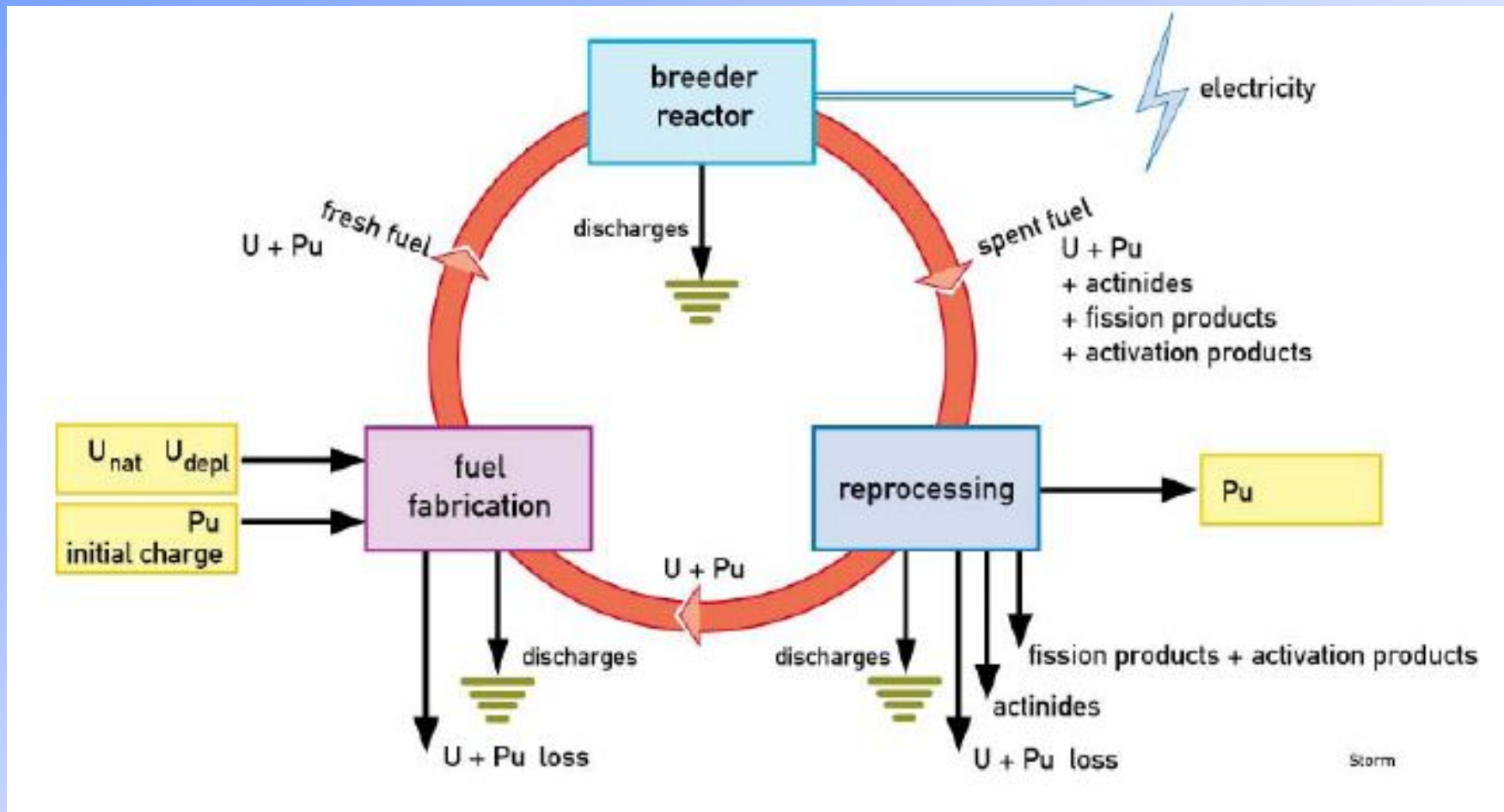
Ponadto uran można uzyskiwać jako produkt uboczny przy wydobywaniu innych minerałów

Największa na świecie kopalnia uranu to Olympic Dam w Australii, gdzie uran jest **domieszką do złóż miedzi** o zawartości 0,02% w rudzie, to jest 200 ppm.

W Polsce także możliwy jest odzysk uranu występującego jako **domieszka do pokładów miedzi** w rejonie Lubin-Sieroszowice. Zawartość uranu w rudzie wynosi tam ~ 60 ppm, przy zawartości miedzi 2%. Całkowite zasoby rudy to 2400 mln ton, miedzi 48 mln ton, a uranu 144 000 ton. **Stanowi to ekwiwalent ~ 900 GWe-lat**, które można uzyskać z tych zasobów w elektrowniach jądrowych, przy wkładzie energii mniejszym niż 5% energii uzyskiwanej w tych elektrowniach.

Obecna roczna produkcja w zagłębiu Lubin Sieroszowice wynosi ~ 569 000 ton Cu, a ilość uranu zrzucana na hałdy to ~ 1 700 t/a. Jest to rocznie ekwiwalent paliwa dla EJ o łącznej mocy 10 000 MWe.

Docelowy zamknięty cykl paliwowy - normalne podejście stosowane w XXI wieku



Energetyka jądrowa zapewnia pełne unieszkodliwianie swych odpadów

Odpady srednioaktywne - dobre doswiadczenie z 50 lat pracy składowiska w Rozanie. Ludzie zdrowi, nie ma przecieków. Różan ma 2 miejsce wśród najzdrowszych miejsc w Polsce.



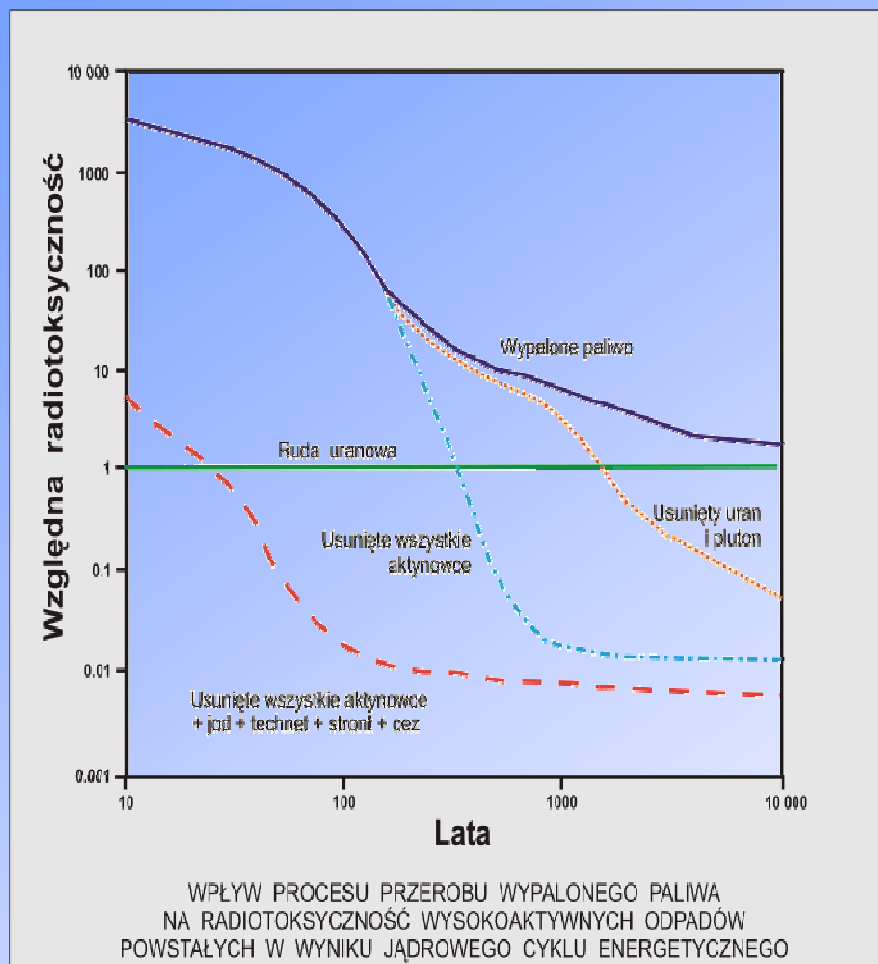
Odpady wysokoaktywne – to wypalone paliwo. Mamy dwie drogi:

1. **Przechowywać je w całości**

głęboko pod ziemią , póki jego aktywność nie spadnie poniżej aktywności rudy uranowej

2. **Recykliczować** jak wszystko w XXI w. – materiał rozszczepialny wykorzystuje się w nowym paliwie jądrowym, a produkty rozszczepienia przesyłamy do przechowania- ale tylko przez kilkaset lat. Potem są niegroźne.

Czy potrafimy przechowywać odpady bezpiecznie przez wiele lat?



Przy recyklingu po aktywność odpadów zmaleje poniżej aktywności rudy uranowej po 300 latach.

Ilość ich jest b. mała. Odpady z jednego roku pracy reaktora o mocy 1000 MWe, to 12 kanistrów o wysokości 1,3 m i średnicy 0,4 m,

Odpady wysokoaktywne na 1 osobę przez całe życie



Przykład z życia- co zostało z okrętu Vasa po 330 latach na dnie morza?

Np. baryłki piwa, ciągle jeszcze zawierające piwo!



Jeśli zwykłe beczki od piwa pozostały szczelne po 300 latach w słonej wodzie, to czy nie potrafimy dziś zrobić pojemników na odpady przechowywane w starannie wybranych, suchych miejscach, które **wytrzymają równie długo?**

Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej Environmentalists for Nuclear Power - EFN



EFN skupia tych ekologów, którzy wierzą, że warto dać człowiekowi energię, a najlepszym stabilnym źródłem energii jest energia jądrowa.

**Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania
Wydział Ekologii – Kierunek Ochrona Środowiska**

„...ze względu na zdrowie człowieka i ochronę środowiska energia jądrowa powinna być preferowanym źródłem energii przez następne kilkadziesiąt lat.”

J. Lovelock:

„Oczywiście, wykorzystujemy najlepiej jak można ten mały wkład energetyczny, jaki mogą ofiarować OZE. Ale tylko jedno źródło stabilnej, niezawodnej energii nie powoduje efektu cieplarnianego i tym źródłem jest energia jądrowa”.

P. Moore:

Jako ekolog, wybieram energię jądrową jako rozwiązanie