

Wydział Fizyki UW
Podstawy bezpieczeństwa energetyki
jądrowej, 2018

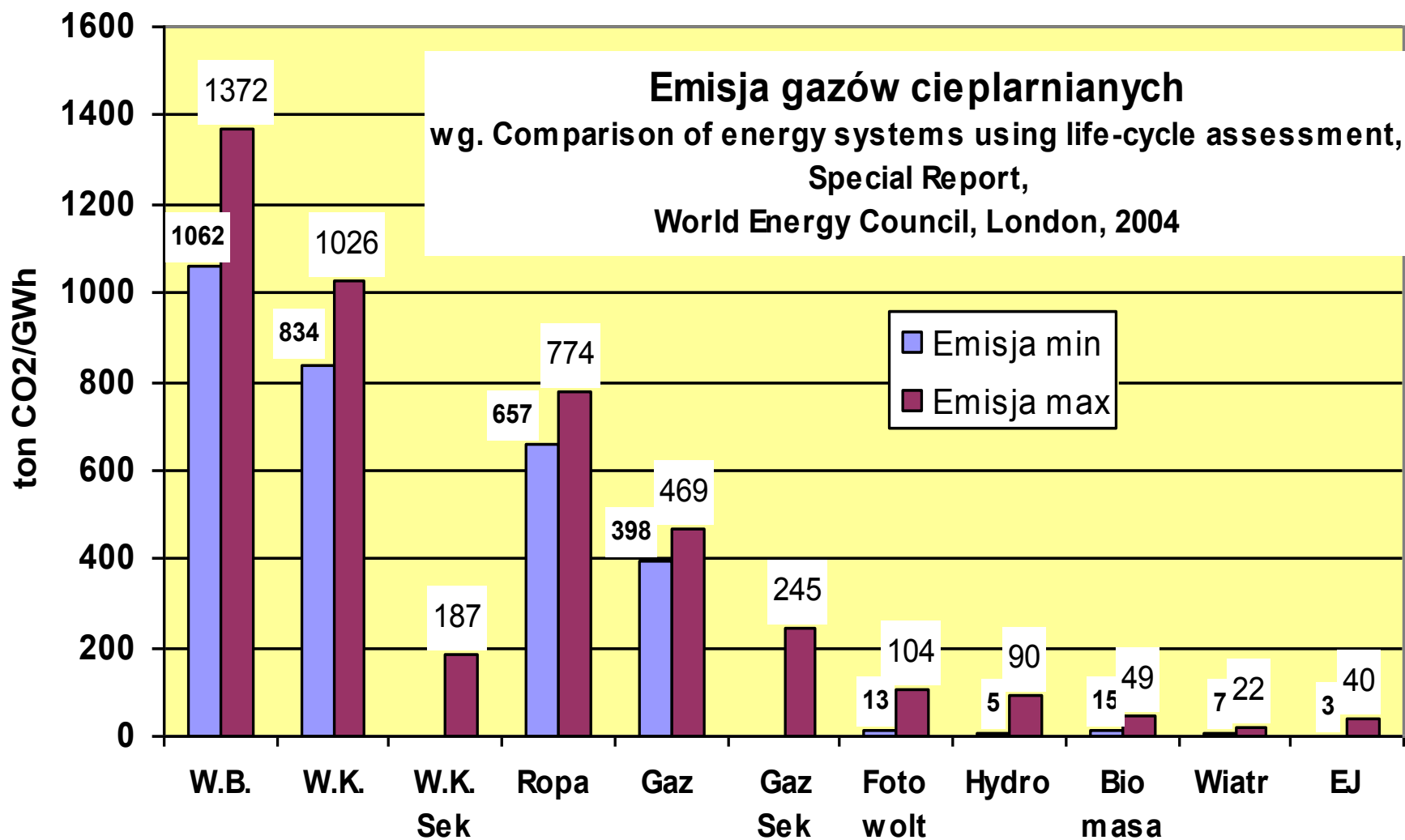
2. EMISJE Z ELEKTROWNI JĄDROWYCH W CZASIE EKSPLOATACJI

Prof. NCBJ dr inż. A. Strupczewski

Spis treści

- **Rola EJ w walce z emisjami CO₂**
- Dawki od EJ mniejsze niż różnice tła
- Emisje z EJ – coraz mniejsze
- Dawki od EJ III generacji
- Skutki zdrowotne wytwarzania energii elektrycznej w UE-15
- Studia stanu zdrowia wokoło EJ w Niemczech i Francji

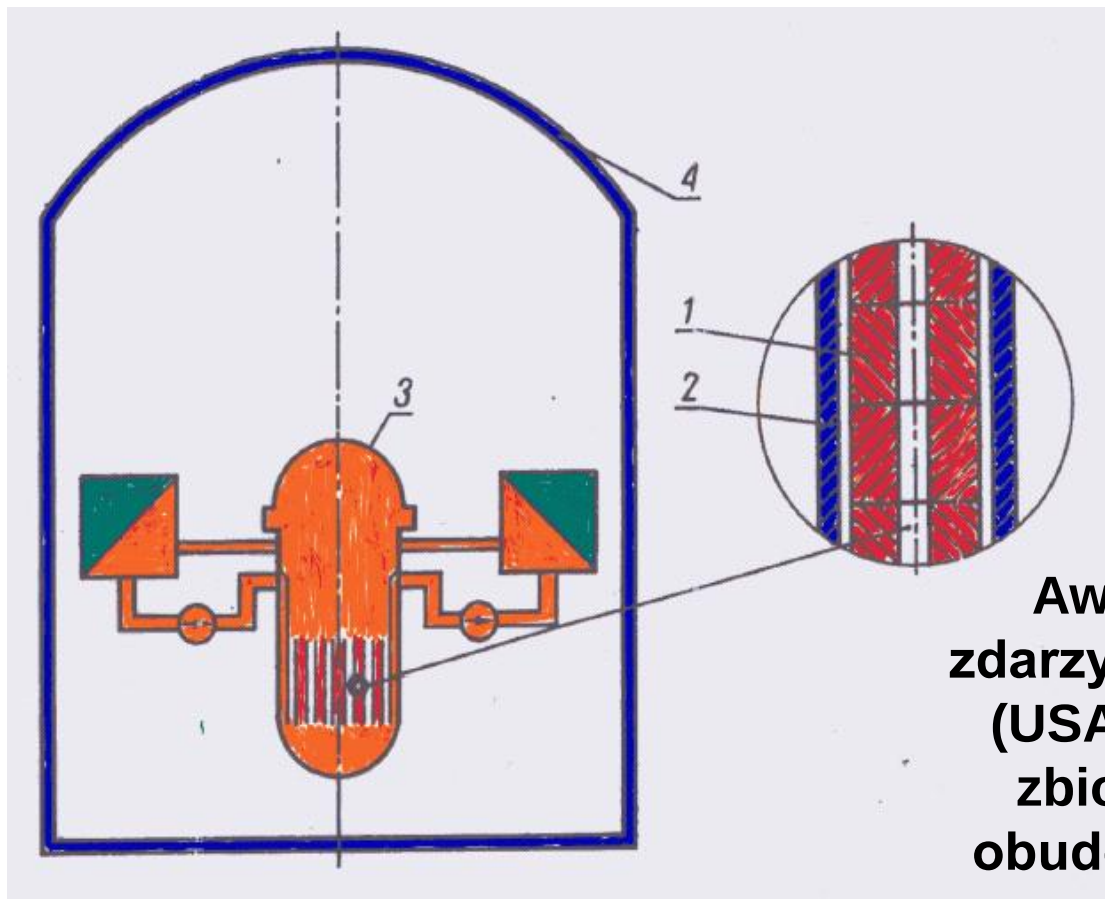
Rola EJ w walce z CO2 wg bezstronnych ocen Światowej Rady Energetycznej



Spis treści

- Rola EJ w walce z emisjami CO₂
- **Dawki od EJ mniejsze niż różnice tła**
- Emisje z EJ – coraz mniejsze
- Dawki od EJ III generacji
- Skutki zdrowotne wytwarzania energii elektrycznej w UE-15
- Studia stanu zdrowia wokoło EJ w Niemczech i Francji

Układ wielu barier - bezpieczeństwo zachowane w razie utraty dwóch, a nawet trzech z nich.



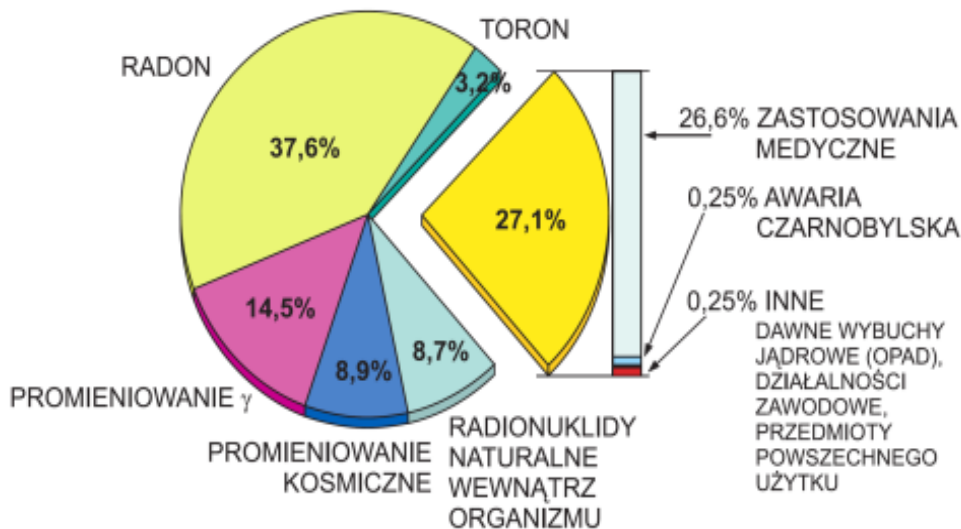
Układ barier w EJ:
1. Pastylki paliwowe,
2. Koszulka cyrkonowa,
3. Zbiornik reaktora,
4. Obudowa
bezpieczeństwa

**Awaria ze stopieniem rdzenia
zdarzyła się w reaktorze PWR w TMI
(USA). Utracono bariery 1 i 2, ale
zbiornik reaktora (bariera 3) – i
obudowa bezpieczeństwa (bariera
4) pozostały szczelne**

Awaria w TMI nie spowodowała żadnych szkód zdrowotnych

Rzeczywistość

ŹRÓDŁA NATURALNE 72,9% (2,325 mSv)
PROMIENIOWANIE OD ŹRÓDEŁ SZTUCZNYCH
(W TYM W MEDYCYNIE) 27,1% (0,866 mSv)



Dawki od EJ
niezauważalnie małe. Np.
Od reaktora EPR generacji
III + roczna dawka to
około 30 mikrosiwertów
dla osoby najbardziej
narażonej.

Nasze normalne dawki to
około 2400 mikrosiwertów
rocznie

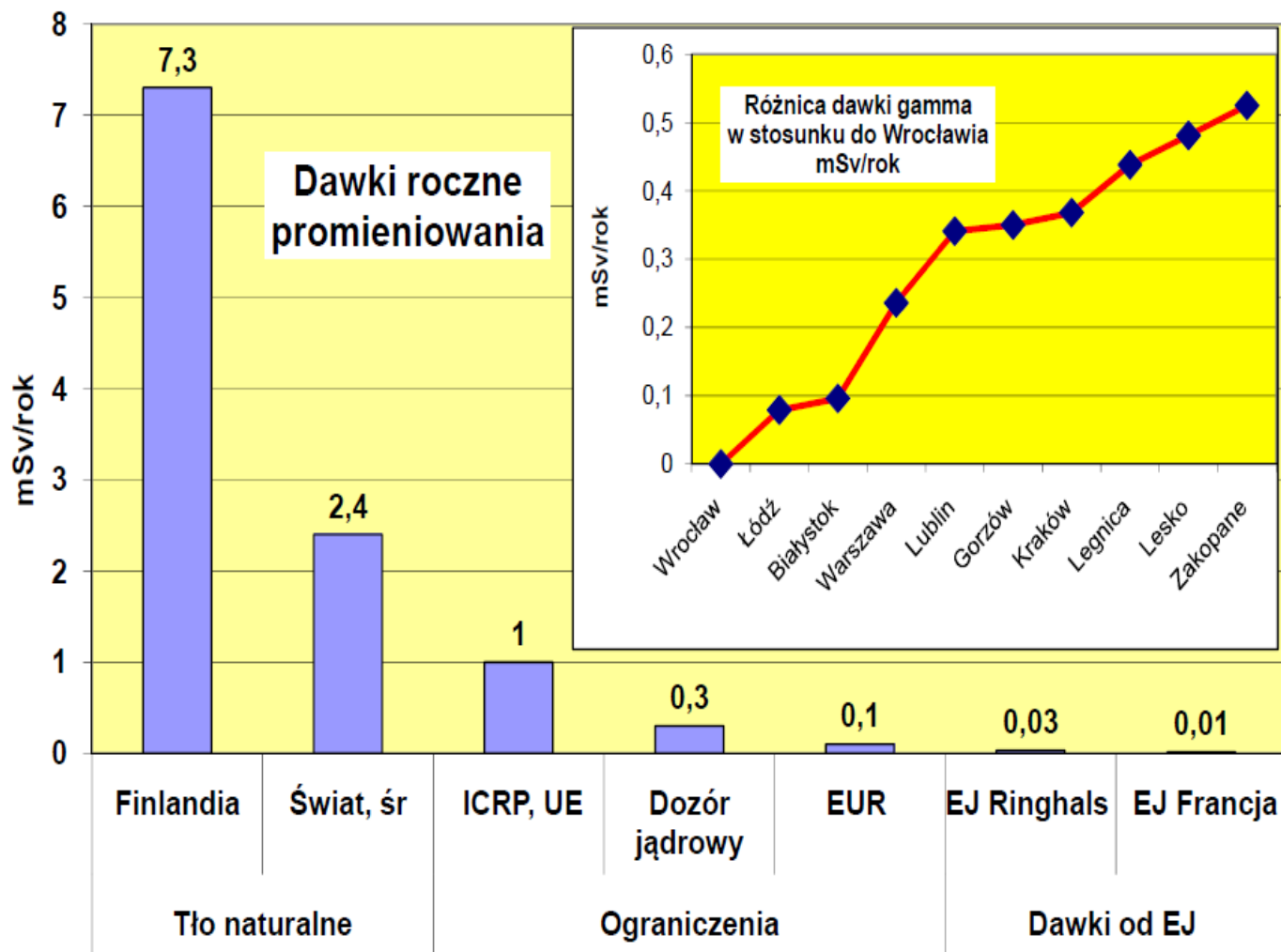
Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniej rocznej dawce skutecznej (3,19 mSv) otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski w 2009 r.

(rysunek zaczerpnięty z raportu: Państwowa Agencja Atomistyki: Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2009 roku Warszawa, czerwiec 2010)



Czysta elektrownia jądrowa w Loviisa, Finlandia

Dawki od EJ mniejsze niż różnice tła promieniowania naturalnego



Dawka od EJ – 0,01 mSv/rok
 Różnica tła promieniowania między Krakowem a Wrocławiem - 0,39 mSv/rok

Spis treści

- Rola EJ w walce z emisjami CO₂
- Dawki od EJ mniejsze niż różnice tła
- **Emisje z EJ – coraz mniejsze**
- Dawki od EJ III generacji
- Skutki zdrowotne wytwarzania energii elektrycznej w UE-15
- Studia stanu zdrowia wokoło EJ w Niemczech i Francji

Emisje z reaktorów PWR i BWR

II generacji

- Według **zasad przyjętych przez US AEC** żadna osoba nie może być narażona na znaczące dodatkowe zagrożenie wskutek pracy EJ, a społeczne ryzyko wynikające z pracy EJ powinno być porównywalne z ryzykiem powodowanym przez inne formy wytwarzania energii i **nie może powodować znaczącego zwiększenia całkowitego zagrożenia społecznego**
- Indywidualne ryzyko wczesnego zgonu dla grupy krytycznej mieszkającej w sąsiedztwie EJ (to jest w promieniu około 1,6 km) **nie może przekraczać 0,1% sumy ryzyka powodowanego przez inne wypadki**, na jakie narażona jest populacja w USA,
- Indywidualne ryzyko zachorowania na raka wśród populacji mieszkającej w promieniu 16 km **nie może przekraczać 0,1% sumy zachorowań na raka** wynikających ze wszystkich innych przyczyn

Znormalizowane uwolnienia z EJ. Średnie wartości w latach 1990-1994

Type of Nuclear Power Station	Normalized discharges (Bq/(GW(e)a))						
	Gaseous					Liquid	
	H-3	C-14	Noble gases	I-131	Particulates	H-3	Other
PWR	2.3×10^{12}	2.2×10^{11}	2.7×10^{13}	3.0×10^8	2.0×10^8	2.2×10^{13}	1.9×10^{10}
BWR	9.4×10^{11}	5.1×10^{11}	3.5×10^{14}	8.0×10^8	1.8×10^{11}	9.4×10^{11}	4.3×10^{10}
GCR ²	4.7×10^{12}	1.4×10^{12}	1.6×10^{15}	1.4×10^9	3.0×10^8	2.2×10^{14}	5.1×10^{11}
HWR	6.5×10^{14}	1.6×10^{12}	2.1×10^{15}	4.0×10^8	5.0×10^7	4.9×10^{14}	1.3×10^{11}
RBMK	2.6×10^{13}	1.3×10^{12}	1.7×10^{15}	7.0×10^9	1.4×10^{10}	1.1×10^{13}	5.0×10^9
FBR	4.9×10^{13}	1.2×10^{11}	3.8×10^{14}	3.0×10^8	1.2×10^{10}	1.8×10^{12}	4.9×10^{10}

Najniższe uwolnienia były z reaktorów PWR. W następnej dekadzie uwolnienia malały, np. uwolnienia gazów szlachetnych zmalały z $2,7 \text{ E}+13$ do $5,8 \text{ E}+12 \text{ Bq}/(\text{GW a})$, a jodu z $3\text{E}+8$ do $8 \text{ E}+7 \text{ Bq}/(\text{GW a})$

Uwolnienia z EJ w 2010 roku

Reactor type	<i>Estimated normalized discharges per unit of electricity generated (TBq per GW a)</i>							
	<i>Discharges to atmosphere</i>						<i>Aquatic discharges</i>	
	<i>Noble gases</i>	<i>Tritium</i>	<i>¹³¹I</i>	<i>¹⁴C</i>	<i>Particulates</i>	<i>³⁵S</i>	<i>Liquid tritium</i>	<i>Other liquid</i>
PWR	5.8×10^0	1.5×10^0	8.0×10^{-5}	8.3×10^{-2}	3.6×10^{-5}	0	1.8×10^1	3.8×10^{-3}
BWR	1.8×10^1	1.3×10^0	4.2×10^{-4}	1.3×10^{-1}	1.8×10^{-3}	0	8.2×10^{-1}	2.1×10^{-3}
HWR	3.5×10^1	2.0×10^2	2.3×10^{-5}	6.0×10^{-1}	1.7×10^{-5}	0	1.7×10^2	3.1×10^{-2}
LWGR	4.6×10^2	2.6×10^1	9.9×10^{-3}	1.3×10^0	2.7×10^{-3}	0	7.8×10^{-1}	2.0×10^{-3}
AGR	1.9×10^1	4.0×10^0	3.2×10^{-5}	1.4×10^0	2.2×10^{-5}	6.6×10^{-2}	4.1×10^2	8.1×10^{-1}
GCR	1.7×10^3	5.0×10^0	0	5.5×10^0	3.0×10^{-4}	3.7×10^{-1}	4.7×10^0	1.2×10^0
FBR	4.4×10^1	4.9×10^1	2.0×10^{-4}	1.2×10^{-1}	1.4×10^{-4}	0	1.7×10^0	2.3×10^{-2}

TBq = 1 E+12 Bq

Źródło : UNSCEAR Report 2016

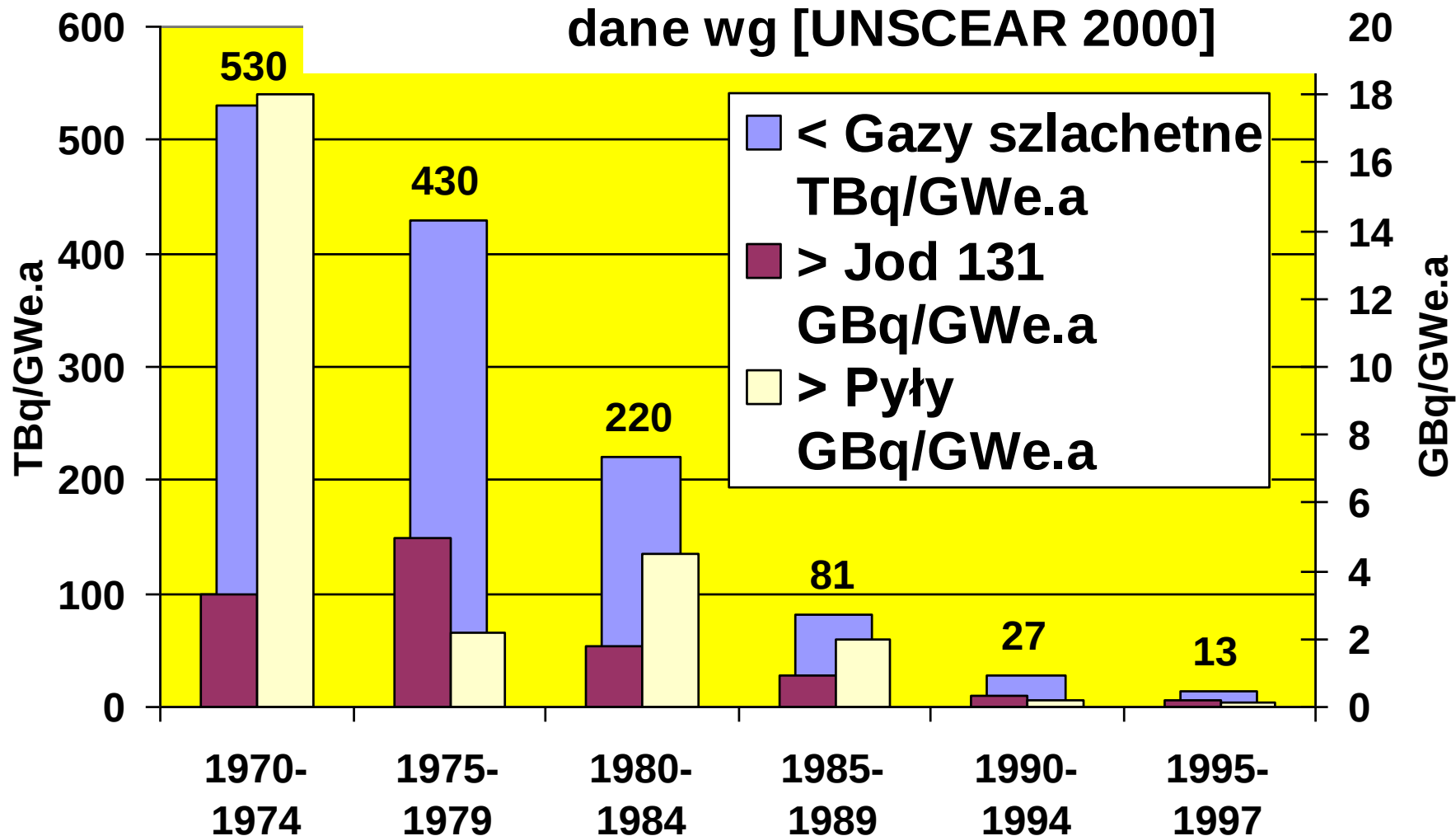
Skuteczna dawka kolektywna dla ludności powodowana przez uwolnienia z elektrowni znormalizowana do 1 GW-roku (UNSCEAR 2016)

UNSCEAR	Skuteczna dawka kolektywna dla ludności (os-Sv/GWa))					
	EJ	Węgiel	Torf	Gaz	Ropa	Geoterm.
1982 [U6]	4.2 ^a	2	—	—	—	6
1988 [U7]	2.5 ^b	4 ^c	2	0.03	0.5	2
1993 [U8] ^d	1.34 ^e	20 ^f	—	(0.03)	(0.5)	(2)
2000 (dla 1990-1994)	0.45 ^g	—	—	—	—	—
2008 (dla 1998-2002)	0.27 ^h	—	—	—	—	—

Uwzględniając ulepszenia techniczne, UDJ Francji ustalił dla nowych EJ limity 10 x niższe

EJ	Golfech, 2X1300 MWE (stare limity)		Flamanville, 2X1300 MWE (nowe limity)	
	Limit	Rzeczywiste emisje	Limit	Rzeczywiste emisje
Gazy szlachetne, TBq/rok	1650	2,74	45	0,90
Tryt, TBq/rok			5	2,03
Węgiel C-14, TBq/rok			1,4	0,416
Jod, GBq/rok	55	0,083	0,8	0,108
Aerozole, GBq/rok			0,8	0,0049

Emisje z reaktorów PWR na jednostkę energii, dane wg [UNSCEAR 2000]



Spis treści

- Rola EJ w walce z emisjami CO₂
- Dawki od EJ mniejsze niż różnice tła
- Emisje z EJ – coraz mniejsze
- **Dawki od EJ III generacji**
- Skutki zdrowotne wytwarzania energii elektrycznej w UE-15
- Studia stanu zdrowia wokoło EJ w Niemczech i Francji

Wymagania dla EPR

- Ograniczenie narażenia społeczeństwa na wydzielania radioaktywne do atmosfery i wody,
- Zmniejszenie aktywności i objętości odpadów radioaktywnych.

Cele zrealizowane poprzez wykorzystanie nagromadzonych doświadczeń w zakresie doboru materiałów, chemii obiegu pierwotnego, redukcji osadów korozyjnych, przeróbki ścieków i gazów radioaktywnych oraz unieszkodliwiania stałych odpadów promieniotwórczych.

Osiągnięto:

- 30% redukcja ciekłych odpadów radioaktywnych w porównaniu z przeciętnymi wartościami dla bloków z reaktorami 1300 MWe, z wyjątkiem węgla C-14 i trytu H-3,
- redukcja zawartości kobaltu i ulepszenia składu chemicznego w obiegu pierwotnym dla zmniejszenia wycieków i ilości odpadów.
- średnie uwolnienia trytu w postaci gazowej zmniejszono o 60% na jednostkę energii wobec bloków 1300 MWe.

Oczekiwane roczne uwolnienia eksploatacyjne z EPR

Oczekiwane roczne uwolnienia eksploatacyjne do wody	Średnie [GBq]	Maksymalne [GBq]
Tryt	52 000	75 000
Węgiel C-14	23	95
Izotopy jodu	0.007	0.05
Inne produkty rozszczepienia i aktywacji	0.6	10

Radionuklidy	Oczekiwane roczne uwolnienia eksploatacyjne do atmosfery [GBq]	Maksymalne roczne uwolnienia do atmosfery [GBq]
Tryt	500	3000
Węgiel C-14	350	900
Izotopy jodu, suma	0.05	0.400
Gazy szlachetne, suma	800	22 500
FP/AP* – suma	0.004	0.340

Dawki dla grupy krytycznej w sąsiedztwie reaktora EPR

Roczne dawki promieniowania dla grupy krytycznej w odległości 500 m od reaktora EPR

	Mieszkańcy lokalni ($\mu\text{Sv r}^{-1}$)	Promieniowanie bezpośrednie ($\mu\text{Sv r}^{-1}$)	Grupa krytyczna ($\mu\text{Sv r}^{-1}$)
Dorośli	2.1E+01	4.8E+00	2.58E+01
Dzieci	9.1E+00	2.5E+00	1.16E+01
Niemowlęta	9.3E+00	1.7E+00	1.10E+01

Zagrożenie radiacyjne jest pomijalnie małe, dużo niższe od rocznych wartości granicznych zalecanych przez ICRP (1000 $\mu\text{Sv/y}$) i **dużo niższe od wartości granicznych ustalanych przez urzędy dozoru jądrowego dla instalacji jądrowych**

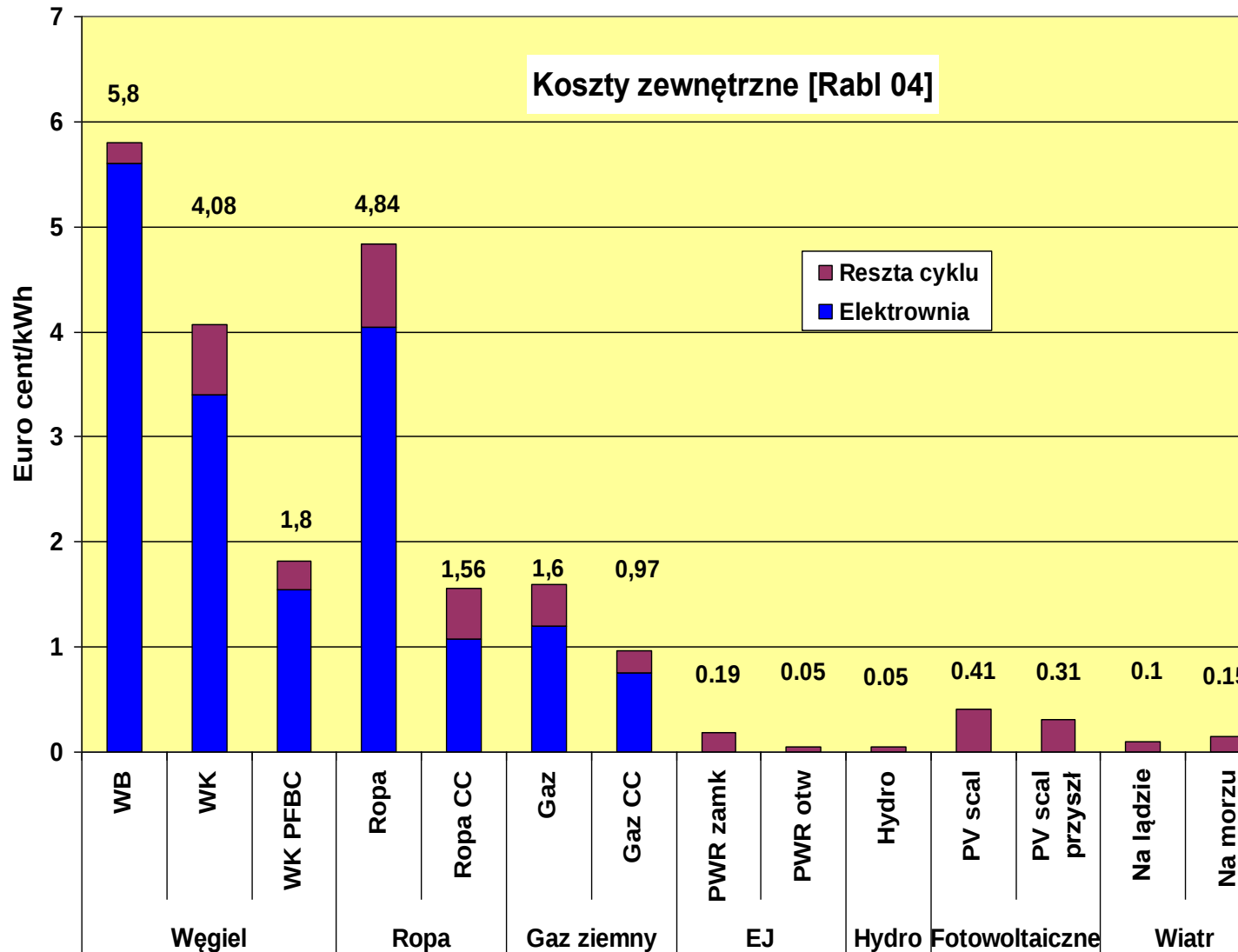
Porównanie dawek powodowanych przez EJ z tłem naturalnym

- Średnia dawka otrzymywana od promieniowania naturalnego i z procedur medycznych przez mieszkańca Polski w ciągu 70 lat to 230 mSv,
- Średnia dawka otrzymana dodatkowo w ciągu 70 lat przez osobę mieszkającą przy płocie EJ III generacji (np. EPR) wskutek pracy EJ to $0,026 \text{ mSv/a} \times 70\text{a} = 3.5 \text{ mSv}$
- Dawki jednorazowe przy prześwietleniu kręgosłupa wynoszą około 4,3 mSv
- A przeprawa z Wrocławia do Krakowa oznacza wzrost dawki w ciągu 70 lat o 15,4 mSv.

Spis treści

- Rola EJ w walce z emisjami CO₂
- Dawki od EJ mniejsze niż różnice tła
- Emisje z EJ – coraz mniejsze
- Dawki od EJ III generacji
- **Skutki zdrowotne wytwarzania energii elektrycznej w UE-15**
- Studia stanu zdrowia wokoło EJ w Niemczech i Francji

Skutki zdrowotne wytwarzania elektryczności z różnych źródeł w UE-15 [Rabl 04]



Straty zdrowia
przeliczone na
pieniądze –
wyniki
programu
ExternE

PFBC- spalanie
w złożu
usypanym pod
ciśnieniem,
CC- cykl
kombinowany,
PWR otw.
– cykl
paliwowy
otwarty,
PWR zamk.
- cykl paliwowy
zamknięty

Spis treści

- Rola EJ w walce z emisjami CO₂
- Dawki od EJ mniejsze niż różnice tła
- Emisje z EJ – coraz mniejsze
- Dawki od EJ III generacji
- Skutki zdrowotne wytwarzania energii elektrycznej w UE-15
- **Studia stanu zdrowia wokoło EJ w Niemczech i Francji**

Stan zdrowia ludzi mieszkających wokół elektrowni jądrowych

- Zarzut: Studium przeprowadzone przez rząd niemiecki wykazało, że wokół elektrowni jądrowych w Niemczech wzrosła umieralność na raka.

.

Studia w Niemczech – prowadzone w latach 1980-1995

Dwa badania dotyczące porównania częstości zachorowań wokoło EJ przeprowadził zgodnie z regułami sztuki Niemiecki Rejestr Dziecięcych Chorób Nowotworowych.

Pierwsze studium uwzględniło częstość wszystkich zachorowań diagnozowanych od 1980 do 1990 r. dla osób mieszkających w promieniu 15 km od dowolnej z 20-tu EJ w Niemczech w porównaniu z równoważnymi i podobnymi demograficznie rejonami. Głównym celem było zbadanie częstości zachorowań dzieci w wieku od 0 do 14 lat. Nie znaleziono podwyższonego ryzyka.

Drugie stadium objęło dane z lat 1991-1995. Wyniki z pierwszego studium dotyczące białaczki u dzieci poniżej 5 lat mieszkających w promieniu 5 km zostały sprawdzone, częstości zachorowań okazały się nieco niższe niż w pierwszym studium i statystycznie nieznaczące.

Wydawało się, że sprawa została rozstrzygnięta na korzyść elektrowni jądrowych. (Peter Kaatsch)

Studium na zlecenie rządu Zielonych dla wybranych reaktorów testem jednostronnym

W końcu XX wieku władzę w Niemczech objęła koalicja antynuklearna i przeprowadzono trzecie studium, na wstępie którego grupa ekspertów rządowych wykluczyła z analizy część instalacji, a ponadto zamiast testu dwustronnego – w którym rozpatruje się zarówno wyniki wyższe jak i niższe od średniej - przyjęto test jednostronny, w którym wszystkie wyniki niższe od średniej traktuje się jako przypadkowe błędy i odrzuca. Wyniki porównywano ze średnią dla całej populacji w Niemczech.

Podobnie jak w poprzednich badaniach, rozważenie wszystkich zachorowań nowotworowych u dzieci poniżej 5 lat mieszkających w promieniu 5 km przy teście dwustronnym **nie wskazało na podwyższone ryzyko**. Natomiast przy użyciu testu jednostronnego dla okrojonej, jak podaliśmy powyżej, populacji wybranych instalacji udało się wykazać wzrost ryzyka.

Komentarz do testu jednostronnego

- Należy dodać, że jak stwierdza G. Dallal, Kierownik Zespołu Biostatycznego w Tufts University w Bostonie,
- *“Cechą, która powoduje że większość ekspertów w zakresie statystyki odrzuca test jednostronny, jest przyjęte w takim teście założenie, że wszystkie różnice w nieprzewidzianą stronę – duże i małe – muszą być traktowane jako po prostu nieistotne. Nigdy nie widziałem sytuacji – pisze dr Dallal – w której badacze zgodziliby się na to w praktyce...
Zadziwiające jest, gdy widzi się testy jednostronne w użyciu w XXI wieku.”*
- G. E. Dallal, One Sided Tests <http://www.tufts.edu/~gdallal/onesided.htm>

Promieniowanie z EJ nie może być przyczyną wzrostu zachorowań

Tak więc niemiecka komisja potwierdziła, że dla rejonów celowo wybranych przez ekspertów pracujących na zlecenie rządu antynuklearnego i przy stosowaniu metody testu jednostronnego obserwuje się niewielki wzrost zachorowań.

Ta sama komisja stwierdziła jednak, że promieniowanie z elektrowni jądrowych nie może być przyczyną tego wzrostu .

Nawet antynuklearny minister Sigmar Gabriel musiał to przyznać. Ponadto komisja przypomniała w podsumowaniu wyników poprzednich dwóch studiów, prowadzonych dla **wszystkich** EJ w Niemczech metodą testu dwustronnego, które **nie wykazały wzrostu zachorowań**. Komisja nie rozpatrywała też wpływu zjawiska migracji ludności, które jak stwierdzono poprzednio w innych krajach (W. Brytania, USA, Francja) powoduje wzrost częstości zachorowań.

Wielkie studium z USA potwierdza, że promieniowanie z EJ nie szkodzi

- Wielkie studium zachorowalności na raka wśród populacji mieszkającej wokoło elektrowni jądrowych przeprowadzone przez US National Cancer Institute i opublikowane przez National Institutes of Health of the USA wykazało, że nie ma wzrostu zachorowań na raka w pobliżu instalacji jądrowych.
- W studium uwzględniono ponad 900 000 zgonów na raka wokoło EJ i ponad 1 800 000 zgonów na raka w rejonach odniesienia (kontrolnych). Dane obejmowały okres 35 lat.
- Dla białaczki okazało się, że względne ryzyko wynosiło 1.02 przed uruchomieniem EJ, a 0.98 po uruchomieniu ([Jablon 90] p.1).

KATASTROFA

w elektrowni jądrowej
Tricastin, Francja



MINISTERSTWO GOSPODARKI:

Elektrownie atomowe w polskim systemie
elektroenergetycznym – brak emisji CO₂ i
innych zanieczyszczeń do środowiska..

Cechy reaktorów generacji III i III+
Obniżone oddziaływanie na środowisko..



8 lipca 2008 roku z elektrowni atomowej Tricastin przy
Avignon w południowej Francji wylano do dopływów rzeki
Rhône – kanałów Gafflere i Lauzon 30 000 litrów wysoko
skażonej, radioaktywnej wody o równowartości 360 kg
uranu. Dziesiątki tysięcy ryb zostało skażonych.

Czy wycieki z EJ powodują skażenia

Zarzuty przeciwników EJ:

8 lipca 2008 r. z EJ Tricastin przy
Avignon w pd Francji wylano do Rodanu
30 m³ wysoko skażonej, radioaktywnej
wody o równowartości 360 kg uranu.
Dziesiątki tysięcy ryb zostało skażonych.

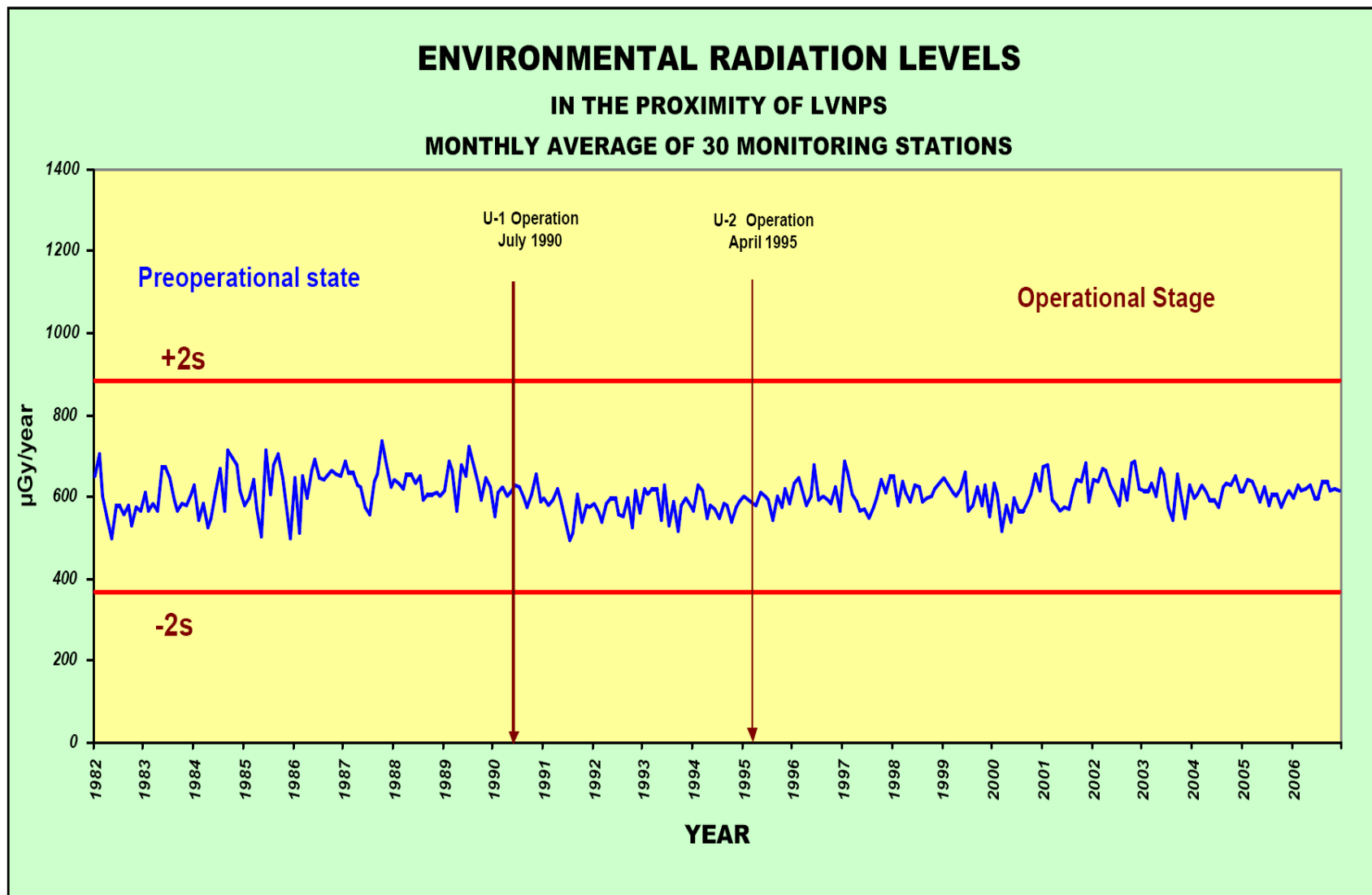
Michael Müller, Wiceminister
środowiska w Niemczech (SPD) „To nie
jest drobnostka, gdy radioaktywny uran
przenika do gruntu” „W elektrowniach
jądrowych sale zdarzają się wypadki,
których nikt nie przewidział.”

Przeciek naprawdę wystąpił, ale nie było zagrożenia radiacyjnego.

- Wyciek zdarzył się gdy zbiornik zawierający roztwór ze śladowymi ilościami uranu naturalnego (nie wzbogaconego) był czyszczony przez firmę Socardi, filię AREVY. Skażona ciecz przelała się przez rezerwuar i przesiąkła do ziemi , a stąd od Gaffioere i Lauzon, dwóch sąsiednich rzek płynących do Rodanu.
- Dozór jądrowy oświadczył, że zagrożenie jest małe, a stężenie uranu w jednej z rzek wyniosło 1000 razy więcej niż normalnie. Tym niemniej władze lokalne zabroniły przejściowo pić wodę z tej rzeki ze względu na toksyczny charakter uranu.

<http://www.spiegel.de/international/europe/0,1518,564826,00.html>

Promieniowanie przed i po uruchomieniu EJ Laguna Verde – nie widać zmian



Dawki powodowane przez emisje z EJ

- Komitet Souleau (Francja) oszacował, że max. dawka dla grupy krytycznej odpowiadająca dopuszczalnym emisjom z EJ wynosi **0.3 mSv/y**.
- Roczne dawki poza EJ powodowane średnio we Francji przez wszystkie emisje w 1992 wyniosły **0.001 mSv/rok**, podczas gdy limit dla społeczeństwa był 5 mSv, a dla pracowników 50 mSv. Podobne wartości wystąpiły w następnych latach.
- Wg raportu za rok 1995 uwolnienia ciekłych i gazowych produktów radioaktywnych ze wszystkich obiektów cyklu jądrowego z zakładami przerobu paliwa wypalonego łącznie nie miały mierzalnego wpływu na zdrowie ludzi, a moce dawki były krańcowo małe, średnio rzędu 0.01 mSv/rok, tj. **poniżej 1/200 tła**.

Energia jądrowa
NIE powoduje efektu cieplarnianego
NIE niszczy warstwy ozonowej
NIE powoduje kwaśnych deszczy

Czy jest przyjacielem Ziemi?

