



TMI, Czarnobyl, Fukushima – niebezpieczna energetyka?

Ludwik Dobrzyński

Wydział Fizyki Uniwersytetu w Białymstoku

Dział Szkolenia i Doradztwa, Instytut Problemów
Jądrowych im. A. Sołtana w Świerku

łączy
nas
troska
o Ziemię
i ludzi



Fragment fot. Igora Zenina

Najważniejsze wydarzenia w przemyśle jądrowym do 1980 r.

- 1945 - Bombardowania Hiroszimy i Nagasaki; przebadano 94 600 ocalałych: 45% wzrost liczby białaczek, 11% wzrost nowotworów litych – przy dawkach przekraczających 1 Sv
- 1950-1960 – testowe wybuchy jądrowe (Nevada); narażono ok. 160 mln obywateli USA: być może wzrost nowotworów tarczycy
- 1948-1972 – Rzeka Tiecza, zakład produkcji broni jądrowej, Mayak, ZSRR – silne skażenia terenu plutonem. Narażonych 21 000 pracowników i 30 000 mieszkańców wsi. Skutki, jak po testach

Najważniejsze katastrofy w cywilnej energetyce jądrowej

- 1975 – pożar w Browns Ferry, USA.
- 1979 – Three Miles Island, k. Harrisburga w stanie Pensylwania, USA
- 1986 – Czarnobyl, b. ZSRR
- 2004 – Paks, Węgry
- 2011 – Fukushima, Japonia



Skala INES

1. anomalia, naruszająca zatwierdzone warunki eksploatacji;
2. incydent, znaczne skażenie, nadmierne narażenie pracowników;
3. poważny incydent, narażenie ludności na napromienienie dawką dopuszczalną, poważne skażenie, ostre skutki u pracownika;
4. awaria bez znacznego zagrożenia poza obiektem, narażenie ludności na napromienienie dawką dopuszczalną, znaczne uszkodzenie rdzenia reaktora, narażenie pracownika na napromienienie dawką śmiertelną;
5. awaria z zagrożeniem poza obiektem, prawdopodobnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie planowych przeciwdziałań, poważne uszkodzenie reaktora;
6. poważna awaria, znaczne uwolnienie, prawdopodobnie będzie konieczne pełne wprowadzenie planowych przeciwdziałań;
7. wielka awaria, wielkie uwolnienie promieniotwórczych substancji, rozległe skutki zdrowotne i środowiskowe;

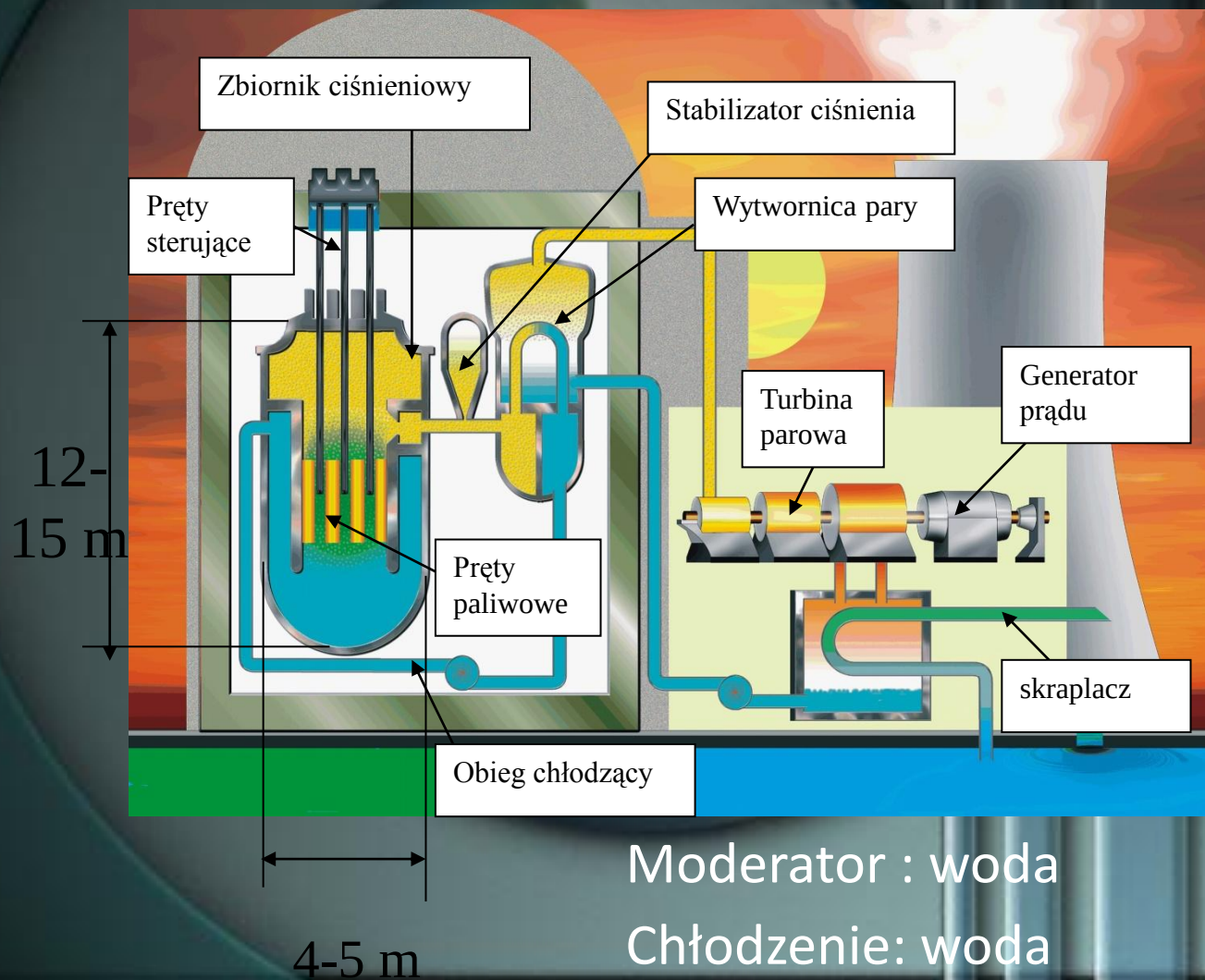
22.03.1975 Browns Ferry, USA

- pożar w elektrowni jądrowej z dwoma reaktorami BWR o mocy po 1100 MW_e trwał przez 7 godzin
- Przyczyna: podczas badania szczelności przepustów w obudowie bezpieczeństwa od ognia świecy zajęły się izolacje kabli, z których część zasilala układy bezpieczeństwa. Przepusty zostały wcześniej rozszczelnione dla położenia nowych kabli, a test przeprowadzano przed ponownym uszczelnieniem przepustu pianką poliuteranową
- Zostało spalonych ok. 1600 kabli, w tym 628 z układu bezpieczeństwa.
- Szkody oceniono na około 10 mln \$; oba bloki wyłączono na rok z eksploatacji
- Awaria nie spowodowała uwolnienia do atmosfery materiałów promieniotwórczych
- W wyniku lekcji wyciągniętej z tej awarii wprowadzono bardzo daleko idące zmiany we wszystkich elektrowniach jądrowych na całym świecie, wymagające wielomiesięcznych przestojów i przebudowy pomieszczeń.

Zabezpieczenia przeciwpożarowe

- Obecnie w każdej elektrowni jądrowej przeprowadza się systematyczną analizę zagrożenia pożarowego, definiując wszystkie regiony ogniowe, możliwe źródła pożaru i zasoby materiałów łatwopalnych.
- Wprowadza się pasywne zabezpieczenia przeciwpożarowe mające na celu ograniczenie skutków pożaru i zabezpieczenie ewakuacji personelu
- Kable pokrywane są materiałem nie podtrzymującym palenia, a ich odporność na pożar sprawdza się nie tylko na początku eksploatacji ale i po kilkunastu latach
- Wokoło wszystkich przepustów elektrycznych i mechanicznych w każdej barierze ogniowej zainstalowane są uszczelnienia przeciwpożarowe
- Zespoły kabli zasilania umieszcza się w odrębnych trasach oddzielonych przegrodami lub odległością od tras kabli sterujących, a każdy z trzech lub czterech równoległych i niezależnych systemów bezpieczeństwa posiada odrębne trasy kablone
- Stosuje się układy aktywne do zwalczania pożaru, przede wszystkim rozbudowany układ detekcji pożaru, układ gaszenia pożaru wodą i inne układy gaszenia ognia (gazowy, pianowy, proszkowy).
- Wentylacja zapewnia usuwanie dymu. Poszczególne rejony ogniowe oddziela się przegrodami, np. drzwiami przeciwpożarowymi, wytrzymującymi pożar o określonych normami parametrach, trwający 0,5 h lub 1 h.

Reaktor wodno-ciśnieniowy (PWR)



Three Miles Island: przyczyny awarii jednego z dwóch reaktorów PWR

- Drobną niesprawność w układzie sprężonego powietrza spowodowała zamknięcie zaworów wody zasilającej we wtórnym obiegu, a w ślad za tym przerwanie dostawy wody do wytwornicy pary i niewielki wzrost temperatury w obiegu pierwotnym.
- Cała, stosunkowo niewielka ilość wody obiegu wtórnego, znajdująca się w wytwornicy pary została w ciągu kilku minut zamieniona w parę, gdyż reaktor pracował na pełnej mocy
- Sygnały alarmowe uruchomiły pompy awaryjnego zasilania. Jednakże woda z tych pomp nie mogła przepłynąć do wytwornicy pary, ponieważ po świeżo przeprowadzonym przeglądzie remontowym przez pomyłkę zostawiono kilka zaworów w układzie zamkniętych
- Ciepło gorącej wody z obiegu pierwotnego nie mogło być odebrane, gdyż po stronie wtórnego obiegu nie było wody. Spowodowało to grzanie wody obiegu pierwotnego i wzrost ciśnienia w tym obiegu.
- W ciągu około jednej sekundy reaktor został wyłączony przez system automatycznego sterowania.
- W tym momencie zawór bezpieczeństwa znajdujący się nad stabilizatorem ciśnienia otworzył się zgodnie z przewidywaniem, lecz nie zamknął się po upływie 10 sekund, czego nie zauważono. W rezultacie, oprócz pary, do zbiornika zrzutowego, zaczęła przez zawór wyciekać także woda z obiegu pierwotnego.

TMI: nałożenie się błędów ludzkich na techniczne

Winą za całość awarii należy obarczyć brak właściwych przyrządów kontrolnych, które mogłyby zasignalizować niesprawność zaworu, a ponadto brak odpowiedniego przeszkolenia obsługi, która nie wiedziała, że może nastąpić podniesienie poziomu wody w stabilizatorze ciśnienia w czasie, gdy trwa ucieczka wody z obiegu pierwotnego

Three Miles Island: skutki

- Całkowite zniszczenie paliwa
- Żadnych skutków zdrowotnych u personelu elektrowni (w wyniku awarii trzech operatorów dostało dawki ok. 35 mSv, a 12 dawki nie przekraczające 10 mSv, co nie mogło wywołać negatywnych dla zdrowia skutków)
- Żadnych skutków zdrowotnych u 32 000 ludności Pensylwanii
- Żadnych skażeń promieniotwórczych terenu

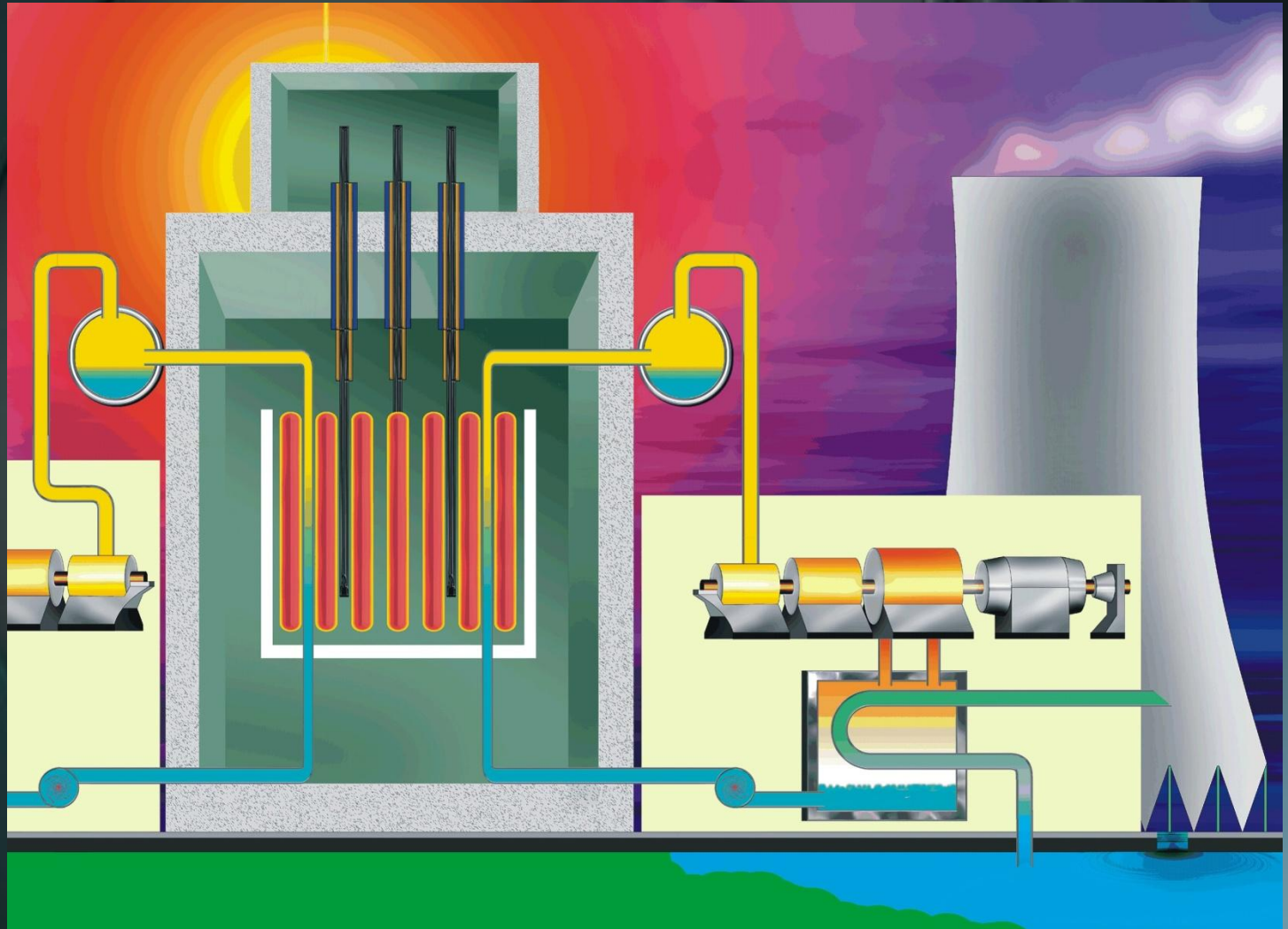
Three Miles Island: analizy

- Kilka lat trwały szczegółowe analizy stanu reaktora, zmierzające do wyjaśnienia wszystkich zjawisk podczas awarii, w tym przyczyn bardzo małych wydzieleń produktów rozszczepienia poza EJ pomimo całkowitego zniszczenia rdzenia.
- Okazało się, że krótkotrwałe wznowienie chłodzenia rdzenia na kilka minut podczas awarii wystarczyło by uchronić zbiornik reaktora przed przetopieniem
- Obecność dużych ilości wody spowodowała zatrzymanie jodu (dobrze rozpuszczalnego w wodzie), tak że jego wydzielenia poza obudowę nie przekroczyły jednej milionowej zawartości jodu w rdzeniu.

TMI: wnioski z lekcji

- Układy sygnalizacji we wszystkich reaktorach zmieniono, tak by pokazywały stan rzeczywisty, a nie stan jaki chce się osiągnąć
- Dodano wskaźniki temperatury w rurociągach zrzutowych z zaworu nadmiarowego (gdyby operator w TMI widział wysoką temperaturę w tym rurociągu, zorientowałby się, że płynie w nim para)
- Do obudowy bezpieczeństwa wprowadzono zabezpieczenia przed gromadzeniem się wodoru
- Opracowano procedury postępowania awaryjnego oparte na symptomach awarii widocznych w sterowni, takich jak temperatury i ciśnienia (*symptom oriented emergency operating procedures*, SO EOP). Zapewnia to eliminację ponad 90% możliwych błędów ludzkich.

Reaktor kanałowy RBMK



Moderator : grafit

Chłodzenie: woda

Możliwe zastosowanie militarne

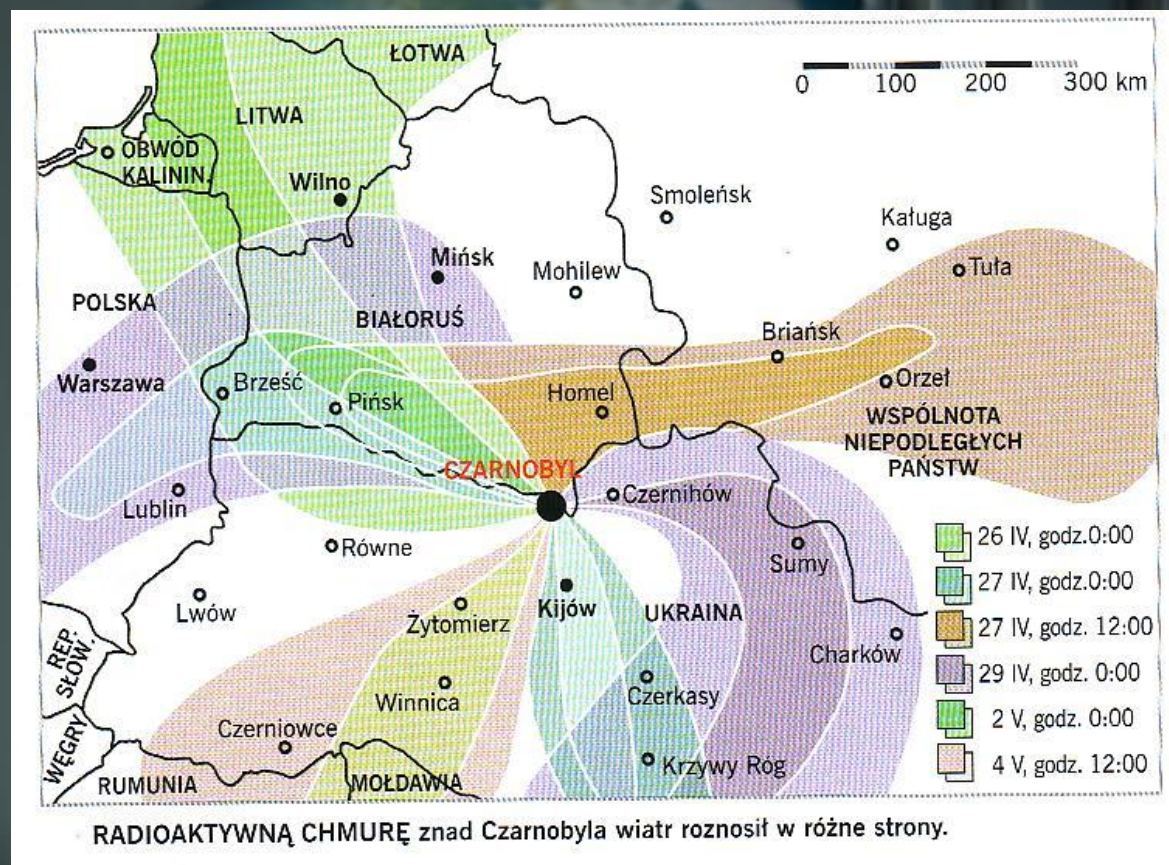
26 kwietnia 1986 r.

- Reaktor w Czarnobylu ulega awarii
- Przyczyny: wadliwa konstrukcja plus błędy ludzkie
- Przebieg:
 - ❖ brak chłodzenia rdzenia powoduje wyparowanie wody
 - ❖ Tworząca się para reaguje z cyrkonowymi koszulkami paliwa, w wyniku czego tworzy się wodór
 - ❖ Powstają dwa wybuchy: parowy i wodoru
 - ❖ Reaktor z budynkiem zostają zdemolowane, a w budynku wybucha pożar
 - ❖ Rdzeń topi się, a do atmosfery zostają wyrzucone ogromne ilości materiału promieniotwórczego

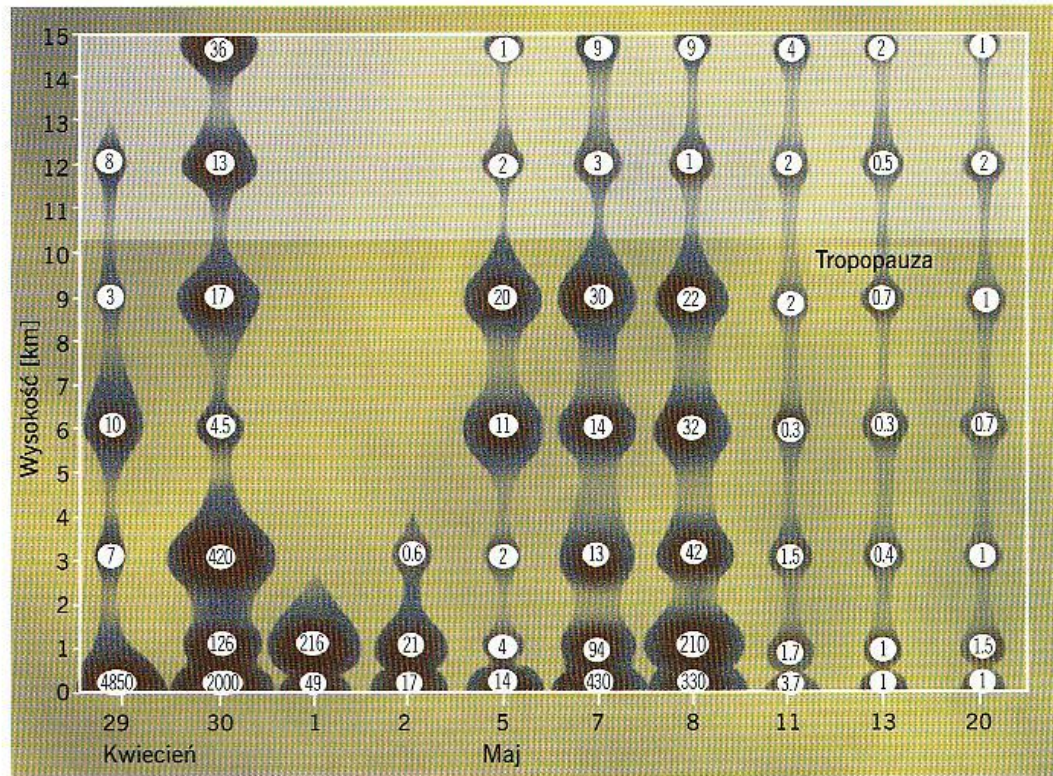
Akcja ratownicza

- Grupa ratowników próbuje ugasić pożar
- Z helikopterów zrzucono 5000 ton betonu, piasku i innych materiałów aby zmniejszyć emisję pyłu promieniotwórczego do atmosfery, górnicy zaś kopali tunel, aby wpompować ciekły azot schładzający spód reaktora
- Ratownicy z Ziemi i powietrza są narażeni na poważne dawki promieniowania jonizującego
- 134 ratowników ma ostrą chorobę popromienną
- 28 umiera w krótkim czasie, pozostali zostają poddani długotrwałemu leczeniu
- 3 przypadki śmierci z powodu urazów mechanicznych lub ataku serca

Chmura radioaktywna

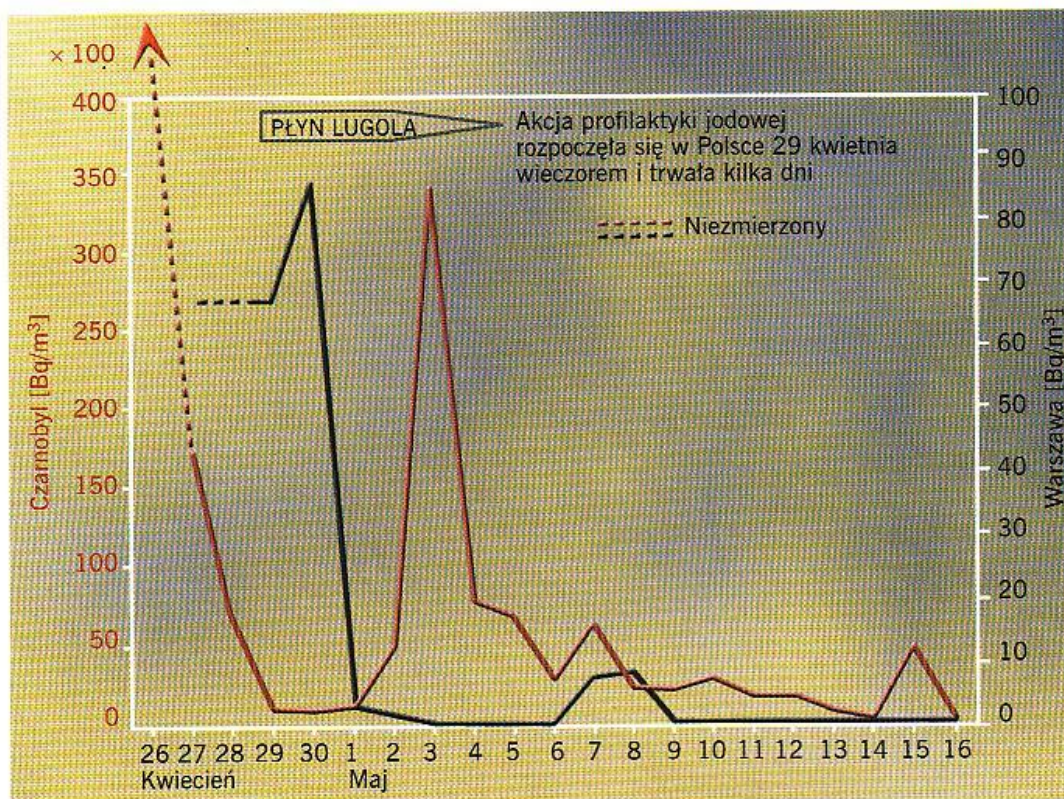


Stężenia cezu-134 i cezu-137 ponad Polską [mBq/m^3]



ROZKŁAD STĘŻEŃ radioaktywnego cezu-134 i cezu-137 ponad Polską (w mBq/m^3) tuż przy powierzchni ziemi oraz na sześciu wysokościach w troposferze i dolnej stratosferze. Są to jedyne tego rodzaju pomiary na świecie przeprowadzone w czasie katastrofy w Czarnobylu.

Jod-131



EMISJA JODU-131 mierzona w próbkach pyłów zebranych podczas lotów helikopterami nad reaktorem w Czarnobylu oraz metr nad ziemią w Warszawie. Chmura radioaktywna dotarła do stolicy prawdopodobnie dobie po rozpoczęciu emisji radionuklidów w Czarnobylu. Druga chmura na szczęście ominęła Polskę, wędrując najpierw ku południowi, a następnie na zachód.

Skażenia i przesiedlenia

- Maksymalny poziom skażeń wokół Czarnobyla – 1480 kBq/m^2
- Wysiedlenia 336 000 osób z terenów uznanych za skażone, przy poziomie skażeń cezem-137 wynoszącym 37 kBq/m^2 – obszar $146\,000 \text{ km}^2$
- Podobne i większe skażenia wystąpiły w Polsce, Norwegii, Szwecji, Finlandii, UK, Austrii, Szwajcarii i innych krajach – gdzie nikogo nie wysiedlano
- Za strefę zamkniętą uznano poziom skażeń 555 kBq/m^2 . Naturalna zawartość nuklidów promieniotwórczych w glebie wynosi średnio 400 kBq/m^2 . W wielu miejscach jest ok. 100 razy wyższa i to nikomu nie szkodzi!

Moc dawki promieniowania gamma 26.04.1986 wokół Czarnobyla w R/h [1 R/h = 10 mSv/h]

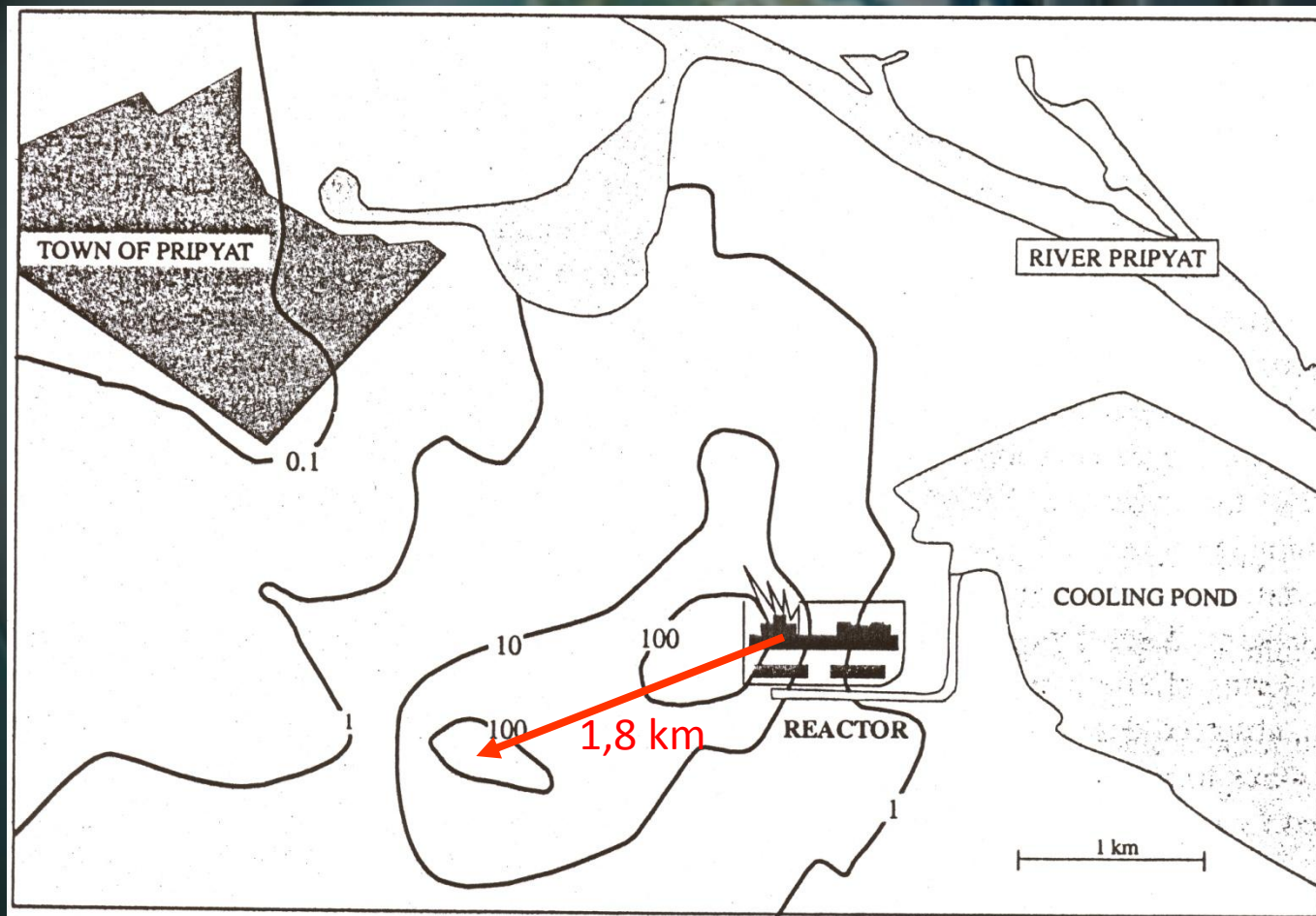
W Prypoci:
8760 mSv/rok
(24 mSv/dzień)

wysiedlono
49 360 osób w
ciągu 2 godzin

Prypeć po
miesiącu:
3,5 mSv/rok

Prypeć w 2008:
MIASTO
WYMARŁE
2.5 mSv/rok

Warszawa:
2,5 mSv/rok



Prypeć 1986 - 2010

- 26 kwietnia 1986 r. – 8760 mSv/rok
- Po tygodniu – ok. 19 mSv/rok
- Po miesiącu – ok. 3,5 mSv/rok
- Rok 2008, stadion sportowy, 4 km od reaktora – 2,5 mSv/rok



Fot. K.Fornalski

Trochę na temat dawek na Świecie

- Średnia - 2,5 mSv/rocznie
- Grand Central Station, New York – 5,9
- Norwegia - 10,5
- Guarapari (Brazylia) - 790
- Lodeve i Lauragais (Francja) - 870
- Ramsar (Iran) – 260-1350

W rejonach o wysokim poziomie promieniowania

- nie stwierdzono wzrostu chorób nowotworowych i genetycznych
- stwierdzono mniej tych chorób i większą odporność

Hot Bedroom!

Two survey meters show the dose rates of **142 and 143 μ Gy/h** on the wall of the bedroom of one dwelling. The owner has used the sedimentary stones formed at hot springs for construction of his house.



Mortazavi SMJ, Lessons learned from Ramsar Studies, Karlsruhe 2003

Czarnobyl i dawki

- 134 pracowników i ratowników 800-16 000 mSv
jednorazowo!
- Zmarli na ostrą chorobę 2900 – 16000 mSv
popromienną (28 osób)
- Ok. 400 tys. „likwidatorów” 15 – 189 mSv/rok
z Białorusi, Rosji i Ukrainy
- Ewakuowani z „30 km zony” 33 mSv/rok
ok. 116 tys. (w roku 1986)
- Ludność terenów „skażonych” 0,8 – 1,4 mSv/rok
średnia z lat 1986 – 1995 (dot. ok. 5 mln osób)
Ich średnia dawka życiowa (70 lat) - 70 mSv
- Średnia dawka życiowa na Świecie
od promieniowania naturalnego 170 mSv

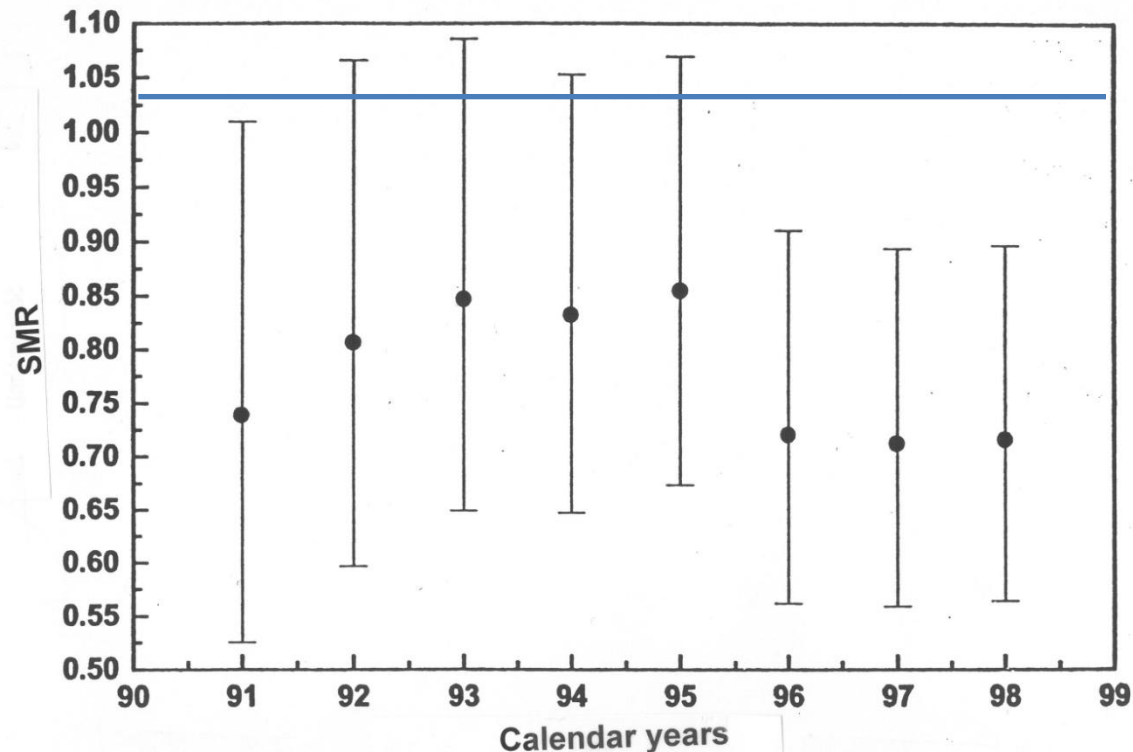
Konsekwencje

- Nie zginął nikt spoza personelu ratującego
- Przewidywano 6 mln zgonów – do dziś nie wykryto ani wzrostu zachorowań na białaczkę, ani wzrostu innych typów nowotworów poza rakami tarczycy
- Obecne przewidywania (Forum Czarnobylskie), to maksimum 4000 zgonów nowotworów w ciągu następnych 20 lub więcej lat. Pamiętajmy: 20% zgonów, to zgony nowotworowe. Ta liczba więc nie jest wykrywalna
- Wg danych UNSCEAR: Zachorowania na nowotwory wśród ludności rosyjskich „terenów skażonych” pyłem z Czarnobyla, są niższe (5-7%) niż w całej populacji Rosji. Niższa od normalnej jest też umieralność nowotworowa rosyjskich ratowników

Raki tarczycy

- Do roku 2010 stwierdzono nie więcej niż 9 zgonów
- Do dziś stwierdzono około 6000 przypadków raka tarczycy, którego pochodzenie przypisuje się napromienieniu „czarnobylskiemu”
- Maksimum „czarnobylskich” raków tarczycy stwierdzono w r. 1994. W stosunku do normy oznaczało to wzrost o 0,027%. To ponad 300 razy mniej niż raków „niemych”, a 6 lat po wybuchu, to za wcześnie na ujawnianie się raków tarczycy
- „Nieme” raki tarczycy: Polska 9,0%, Białoruś 9,3%, USA 13%, Finlandia 35%.
- Stosunkowo duża liczba raków tarczycy zarejestrowanych na „terenach skażonych” jest skutkiem gigantycznych badań skriningowych – 90% dzieci jest corocznie badanych USG!

Umieralność na nowotwory łe wśród rosyjskich ratowników była w latach 1990-1999 niższa o 15 – 30% niż w całej populacji Rosji (Ivanov i in., 2004)

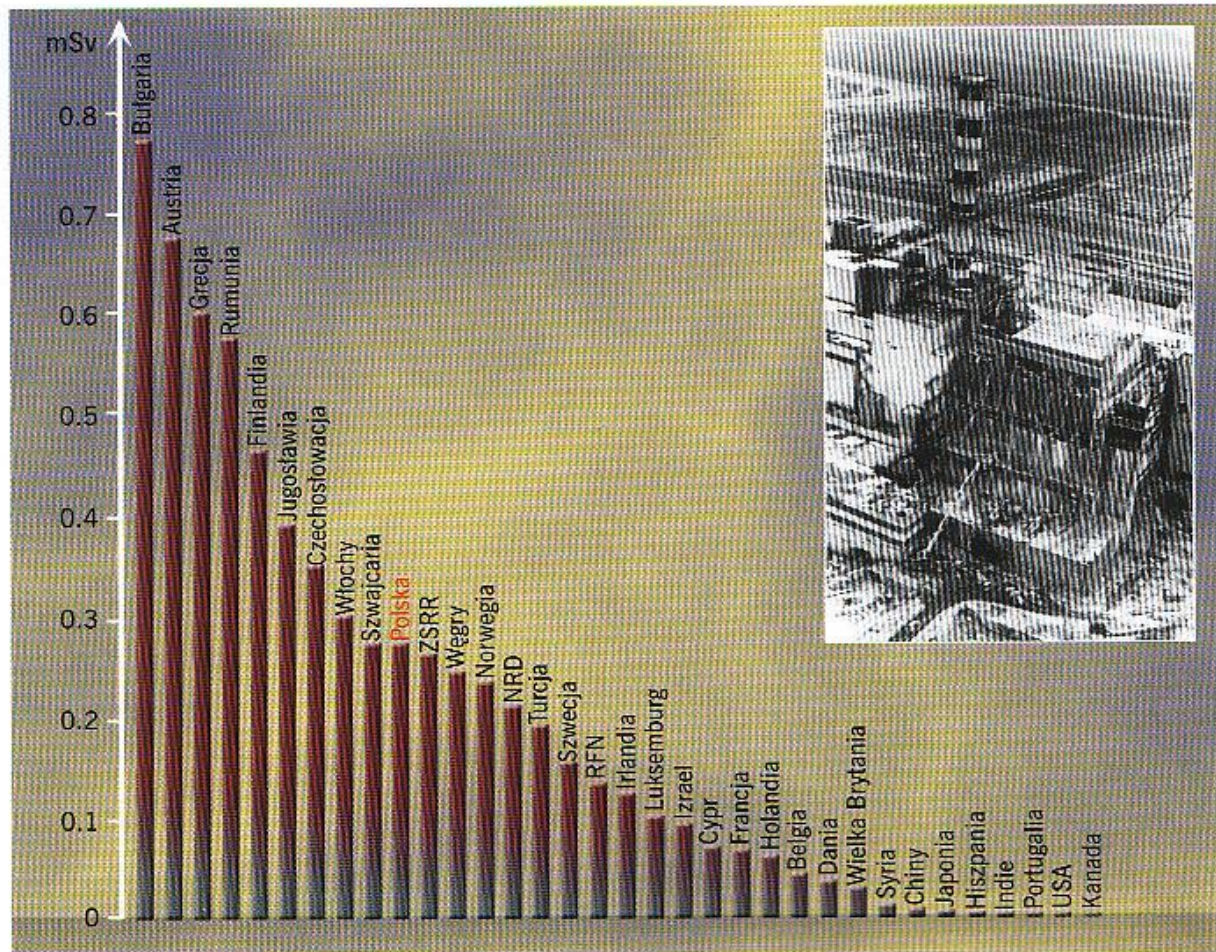


Standard mortality rate (SMR) for solid cancers among Russians emergency workers. The SMR values indicate how cancer mortality among these workers differs from that in general population of Russia used as a control group (1.0). The deficit of cancers among emergency workers between 1990 and 1999 was ranging in particular years between 15% to 30%. After Ivanov et al., 2004.

Sytuacja ludności

- Ogromna liczba zachorowań na podłożu psychosomatycznym
- Wypłacane dodatki zdrowotne (zwane „trumiennymi”) tylko pogarszają sytuację
- A przede wszystkim są marnotrawstwem środków
- Obecnie widać, że w wyniku raportów największych agend jak WHO, Forum czarnobylskie, UNSCEAR, UND, UNICEF kraje wysokorozwinięte przerywają bezpośrednie wspomaganie finansowe Rosji, Ukrainy oraz Białorusi, jako nieuzasadnione
- Raport 4 agend ONZ zaleca przerwanie skupiania się na nieistniejącym zagrożeniu radiacyjnym i powrót na tereny opuszczone

Pierwszy rok po katastrofie



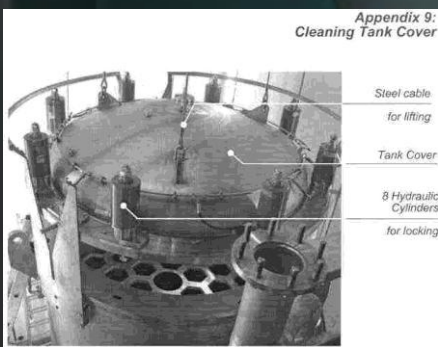
ŚREDNIE DAWKI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO na całe ciało, otrzymywane w różnych krajach w ciągu pierwszego roku po katastrofie w Czarnobylu.

Paks: 10 kwietnia rok 2003

Reaktor typu WWER



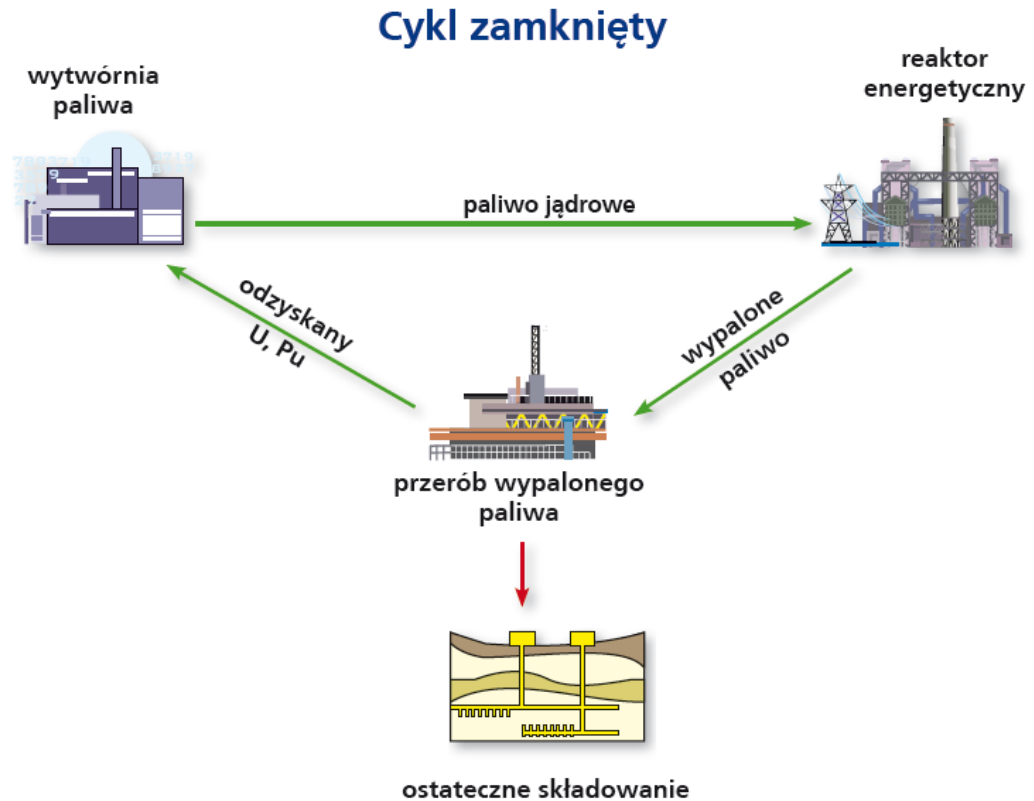
- Incydent 3-stopnia w skali INES: podczas czyszczenia zużytych elementów paliwowych w studzience poza reaktorem (pracę wykonywała grupa z Siemens, a nie pracownicy EJ Paks)
- Zawiodło chłodzenie zbyt długo pozostawionych w studzience elementów paliwowych, które były ogrzewane dzięki ciepłu powyłaczeniowemu
- Po podniesieniu pokrywy zbiornika nastąpiło pęknięcie koszulek 30 elementów paliwowych dzięki gwałtownemu wprowadzeniu zimnej wody do układu i silnemu parowaniu, które doprowadziło do wybuchu pary. Elementy te zostały w pełni zniszczone



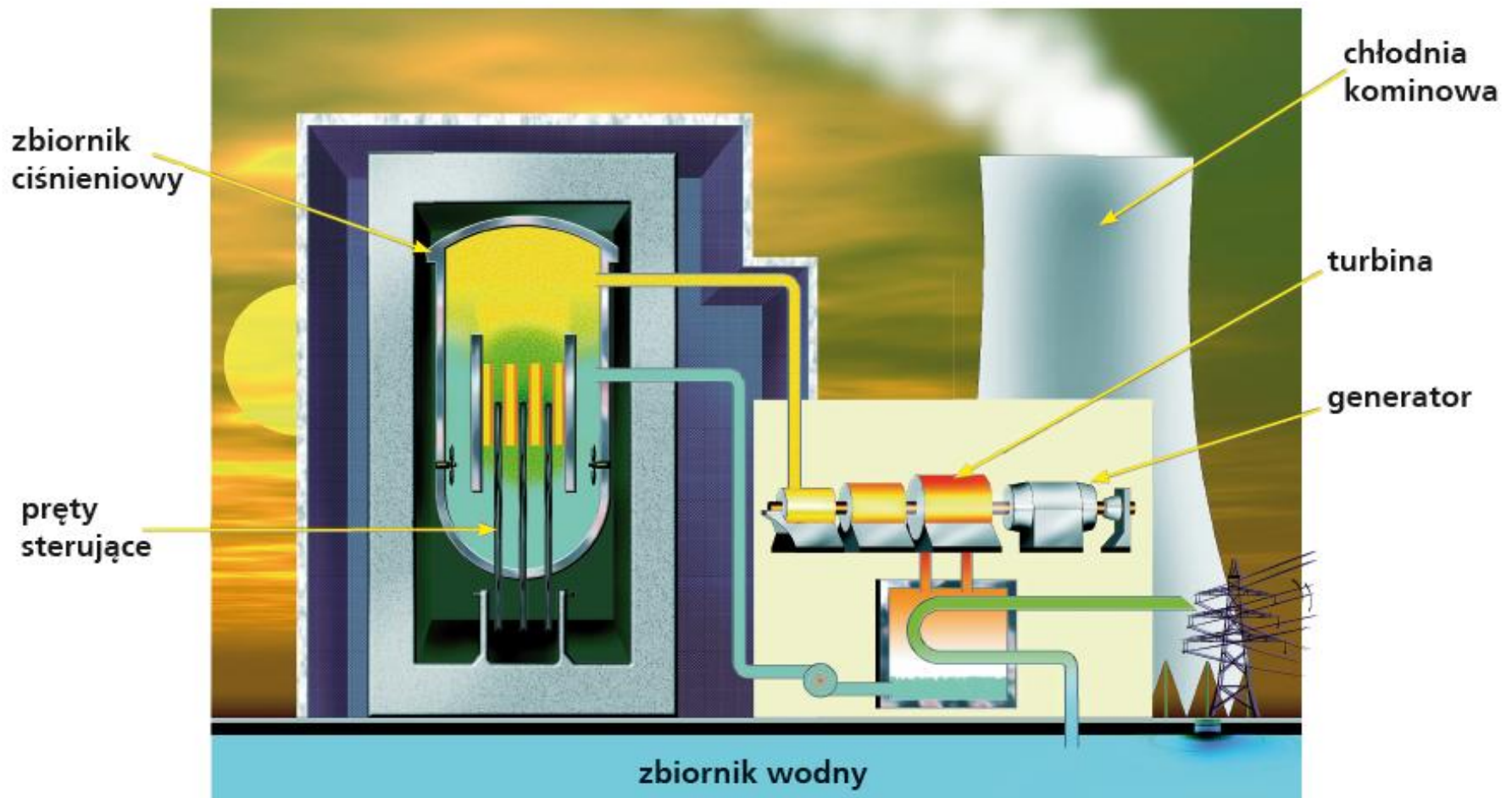
Paks: skutki i analiza

- Opracowanie technologii oczyszczania basenu i przeprowadzenie tej operacji trwało długo, ale po rocznym przestoju reaktor wznowił pracę i obecnie pracuje normalnie.
- Nie ucierpiał nikt z personelu elektrowni, ani z okolicznej ludności
- Węgierska Agencja Energii Atomowej, jak sama stwierdziła, zbyt mało uwierzyła w technologię i wiedzę niemieckiego wykonawcy (firma z koncernu Siemens wchodząca w skład Framatomu, obecnie Areva) . Agencja nie przestudiowała wystarczająco uważnie dokumentacji i nie zauważyła, że zaprojektowany do czyszczenia układ nie spełniał wymogów bezpieczeństwa fatalnego, a pracownicy EJ Paks i pracownicy dozoru zaufali renomowanemu dostawcy urządzenia, nie sprawdzili bezpieczeństwa przed zainstalowaniem urządzenia i nie nadzorowali realizowanej przez firmę Siemens procedury oczyszczania paliwa.

Japońska energetyka jądrowa korzysta z cyklu zamkniętego



Reaktor z wrzącą wodą



Fukushima



Bariery bezpieczeństwa w elektrowniach jądrowych (BWR)

zbiornik bezpieczeństwa

cylinder stalowy
7,5 cm
wysokość 55 m

ściana komory suchej

- wzmocnienie prętami
stalowymi # 8 cm
- wzmocniony beton #1,5 m

zbiornik reaktora

- wysokość 21 m
średnica 6,4 m
- obudowy stalowe
o grubości 10-20 cm

płyta podestu reaktora

- beton # 1,8 m
- wewnątrz płyta stalowa # 2,5 cm
- zewnętrzna płyta stalowa

osłonna ściana budynku

- żelbeton o grub. 90 cm
- siatka prętów stalowych #6,5 cm

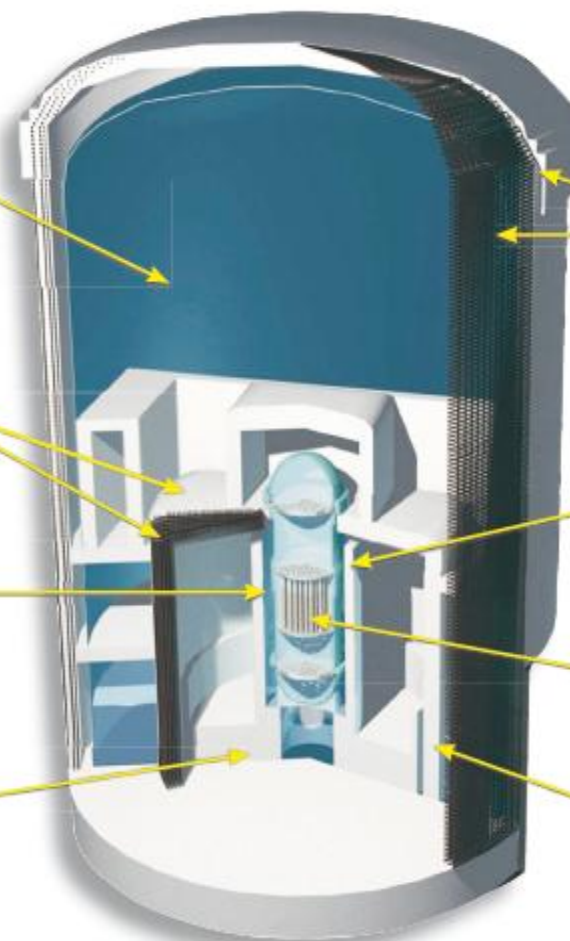
osłona biologiczna

- beton z ołowiem #1,3 m

paliwo reaktorowe

ściana wichrowa

- beton # 45 cm
wysokość 7,3 m



Konstrukcja reaktora Fukushima Daii-chi

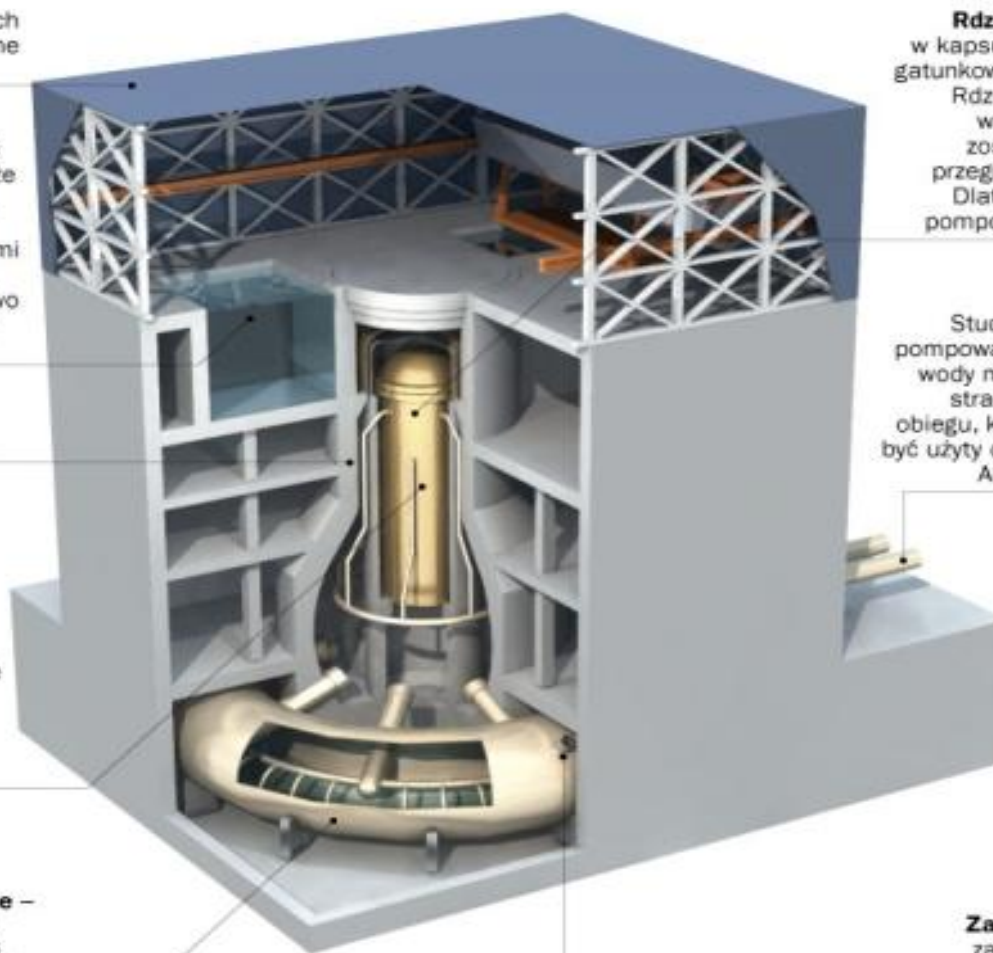
Dach i ściany w pomieszczeniach otaczających reaktor – zniszczone przez eksplozję wodoru

Zbiornik na zużyte paliwo – wypalony uran musi się chłodzić przez wiele miesięcy, zanim może zostać wywieziony z elektrowni. W reaktorze nr 4 taki zbiornik został przedziurawiony odłamkami z eksplozji wodoru. Wyciekła z niego woda, a odsłonięte paliwo zaczęło się grzać. Na szczęście w porę zalano je wodą

Obudowa zabezpieczająca – otacza reaktor żelbetowymi ścianami grubości ponad 1,5 m

Pręty paliwowe – długie i wąskie tuby z cyrkonu wypełnione pastylkami z uranu-235 (jeden z reaktorów może zawierać także pluton)

Zbiorniki z wodą w fundamencie – mają zapobiegać nadmiernemu wzrostowi ciśnienia pary wodnej. Jeśli temperatura rdzenia nadmiernie wzrośnie, nadmiar pary uchodzi do tego zbiornika i tam się skrapla (zbiornik w reaktorze nr 2 prawdopodobnie został wczoraj uszkodzony i uchodzi z niego para)



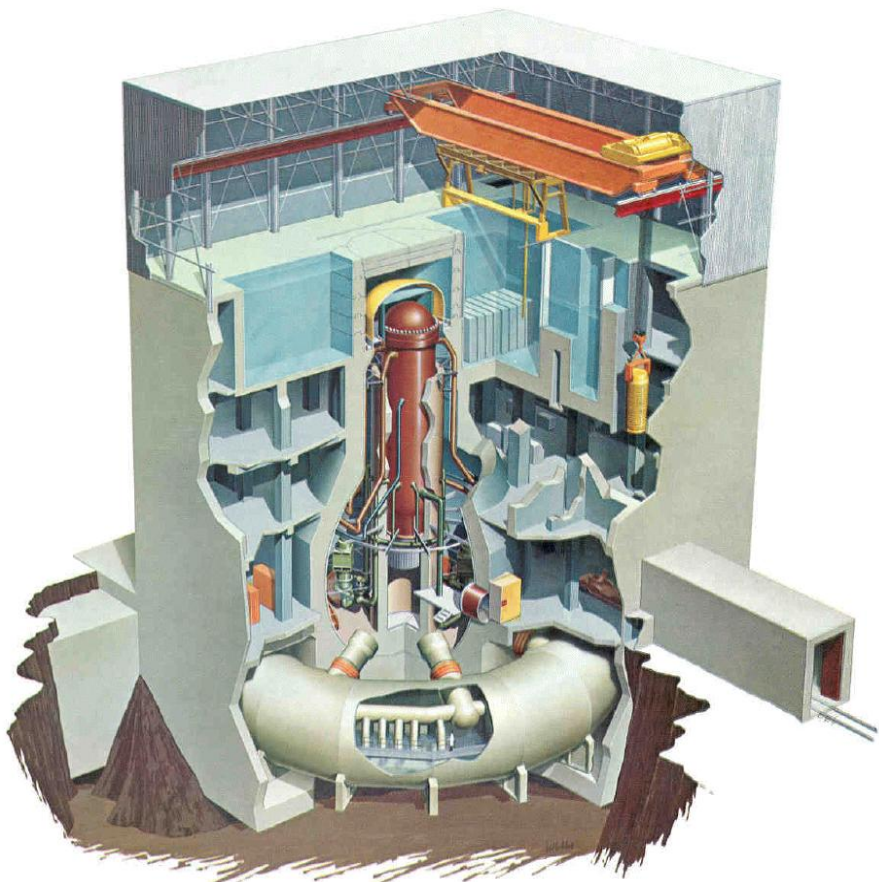
Rdzeń reaktora – zamknięty w kapsule o ścianach z wysokogatunkowej stali grubości 30 cm. Rdzeń musi być stale zalany wodą - jeśli pręty uranowe zostaną odsłonięte, ulegną przegrzaniu i mogą się stopić. Dlatego do rdzeni reaktorów pompowana jest woda morską

Studzenie rdzenia polega na pompowaniu do wnętrza reaktora wody morskiej za pomocą węży strażackich podłączonych do obiegu, który normalnie powinien być użyty do chłodzenia reaktorów. Ale tsunami go uszkodziło

 Tak wygląda człowiek na tle reaktora

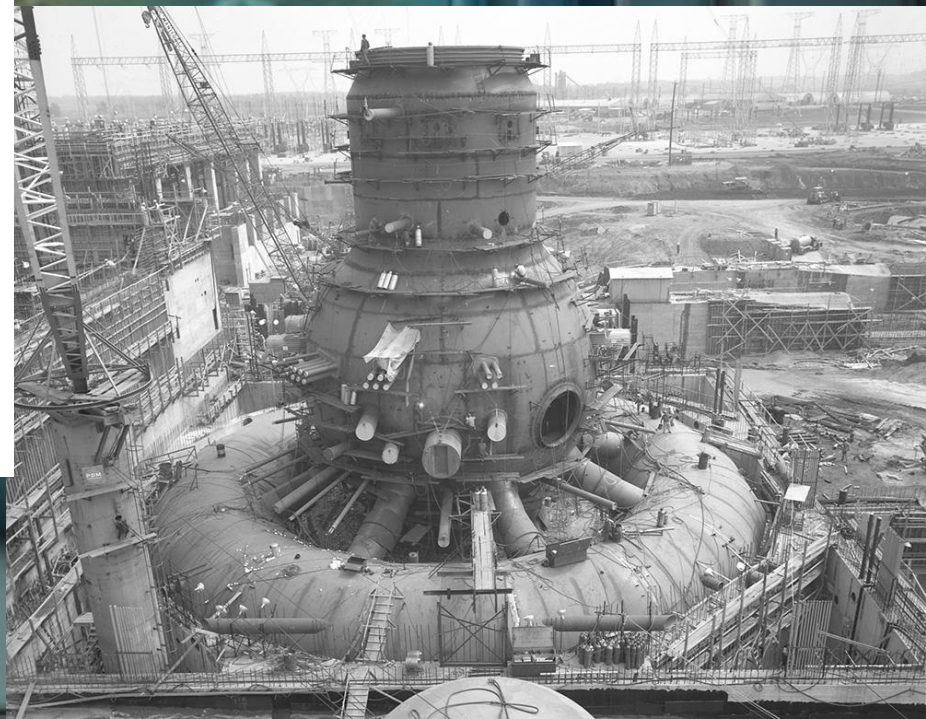
Zawór – jeśli pod obudową zabezpieczającą za bardzo wzrośnie ciśnienie, trzeba otworzyć zawór i wypuścić część pary. Wtedy z reaktora uciekają do atmosfery również radioaktywne izotopy (uwolnione z nadtopionego rdzenia), a także wodór, który powoduje eksplozje

Obudowa MARK-1

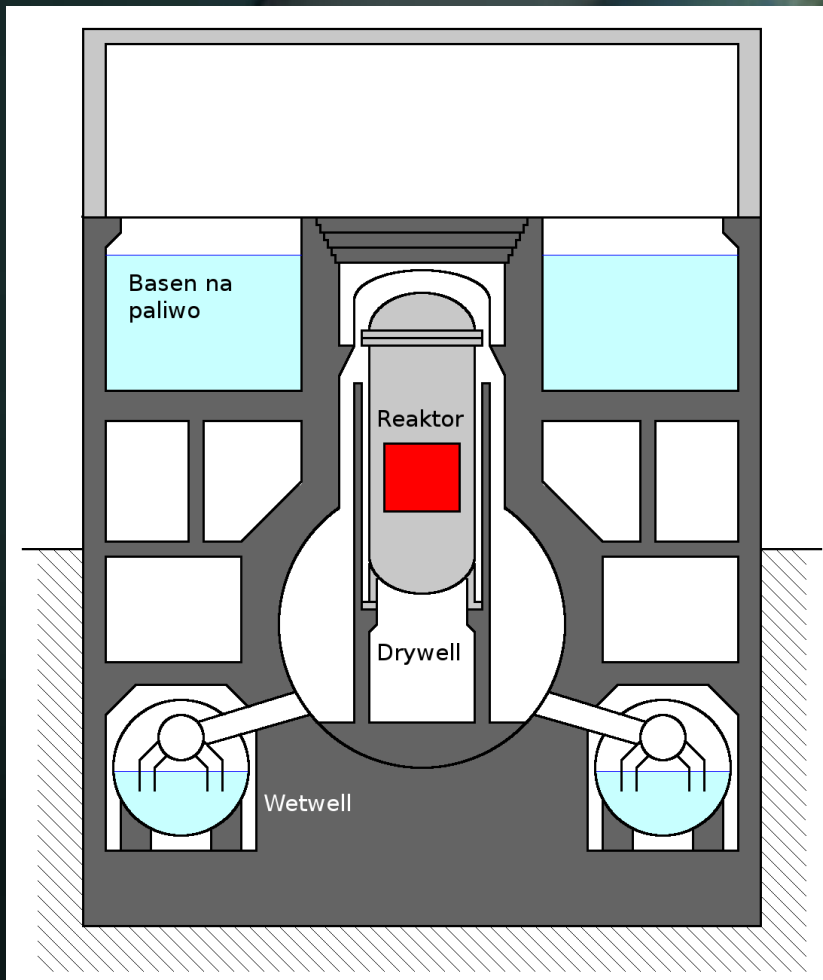


rys: GE via NRC

fot: TVA

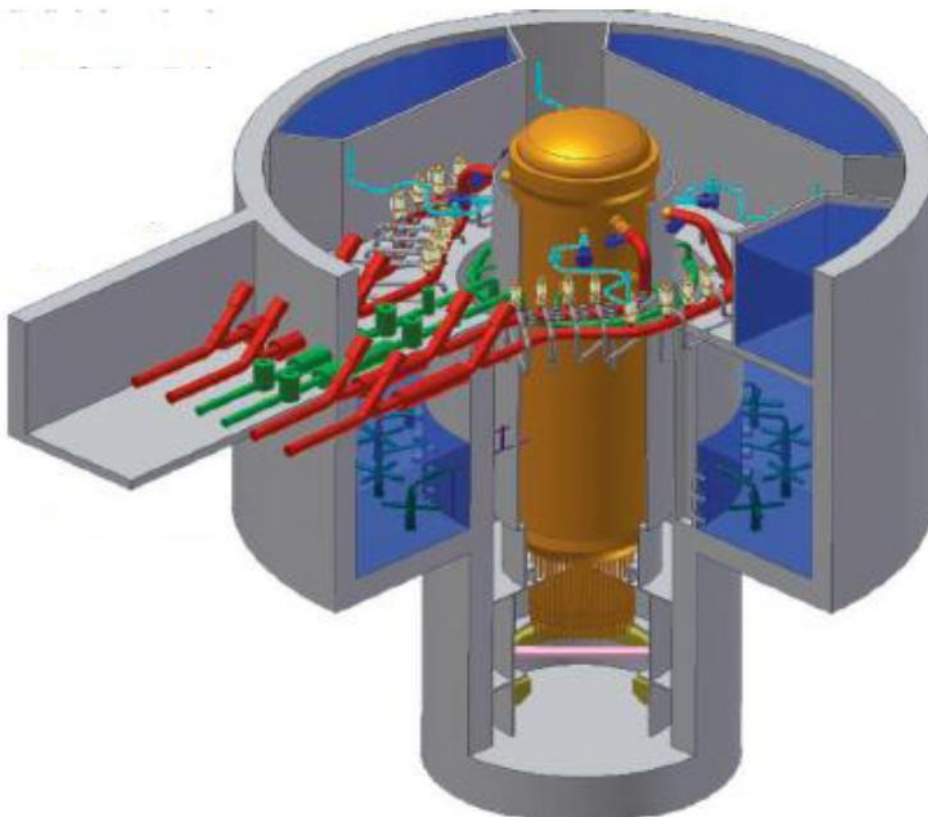


Obudowa typu MARK I



- Obudowa dzieli się na dwie części:
 - Górną (drywell)
 - Dolną w kształcie torusa (wetwell)
- Część dolna (torus) mieści zapas wody
- Reszta budynku pozostaje poza obudową

Chłodzenie – generacja III+



Uproszczony system chłodzenia m-ki GE-Hitachi zawiera w górze zawory do obniżania ciśnienia, górne zbiorniki wodne do zalewania rdzenia dzięki grawitacji oraz dolne baseny dla kondensacji pary wodnej z rdzenia

Awaria: piątek 11 marca 2011 r., godz. 15:36 czasu lokalnego (07:36 czasu polskiego)

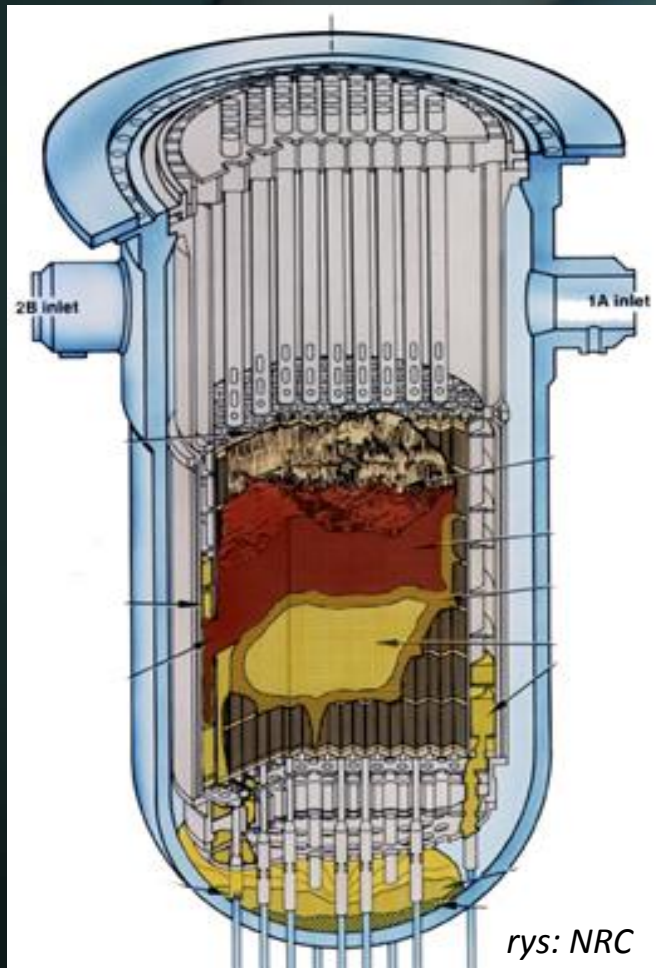
14 marca, godz. 11:04, 3 minuty po
wybuchu wodoru, blok Nr 3



Przyczyny

- Trzęsienie ziemi w skali Richtera 9,0 nie spowodowało awarii: reaktory wyłączyły się automatycznie
- Tsunami o wysokości fali 1,5 metra wyższej niż przewidywano w najgorszych scenariuszach
- Zbiorniki z paliwem do zapasowych generatorów Diesla zostały zmyte, a generatory - zalane
- Niemożność korzystania z akumulatorów zapasowych poza jednym, który przez ok. 70 godz. mógł podtrzymywać obieg chłodzący
- Para wodna w reakcji z koszulkami cyrkonowymi produkowała wodór – stąd wybuch wodorowy

Topienie się rdzenia



- Topienie koncentruje się w środku rdzenia
- Stopiona strefa otoczona jest skorupą z zestalonego materiału
- Jeżeli incydent postępuje, stopiony materiał przemieszcza się na dno zbiornika

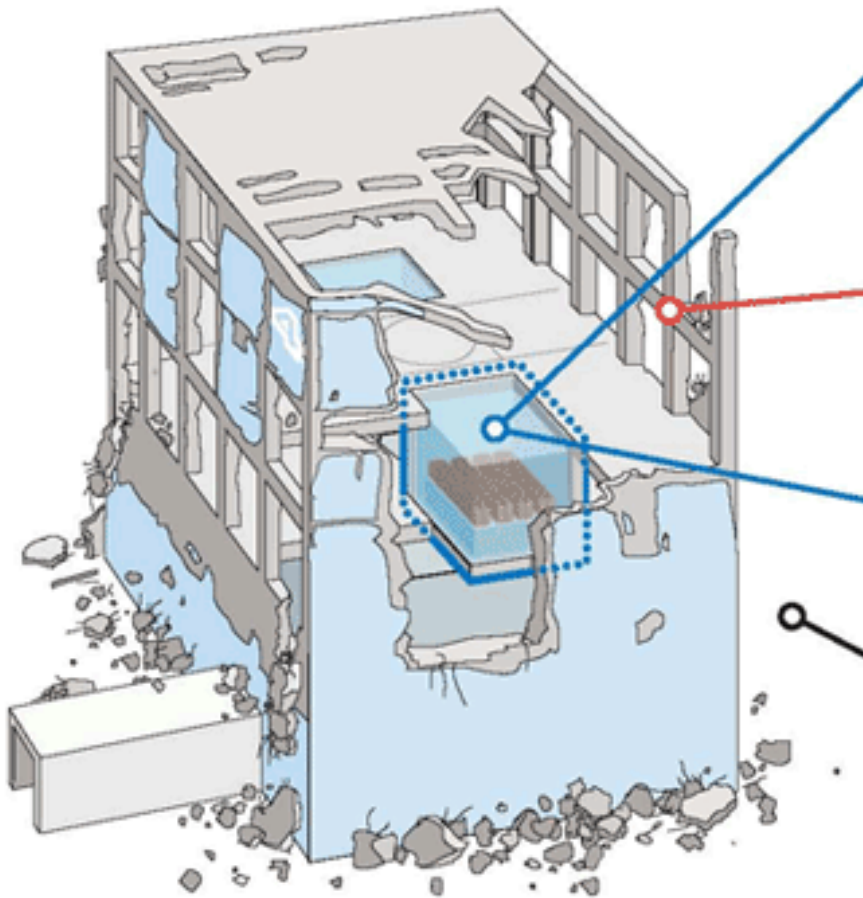
Skutki



17 marca, blok 4

- Wypuszczana para powodowała emisję materiałów promieniotwórczych do atmosfery
- Bloki betonowe wyrzucone pod wpływem wybuchu z reaktora Nr 3 uszkodziły ścianę budynku bloku 4 na wysokości tymczasowego przechowalnika wypalonego paliwa, co spowodowało dodatkową emisję materiałów promieniotwórczych do atmosfery
- Nastąpiło częściowe skażenie okolicznych terenów i bardzo nieznaczne dalszych, a także skażenie wody jodem-131
- Przesiedlono tymczasowo ok. 200 000 osób
- Zalecono nie wychodzenie z domów oraz niespożywanie szpinaku, ryb i niektórych warzyw

Pytania dot. przechowalnika w reaktorze Nr 4, zawierającego 230 t wypalonego paliwa (1331 elementów paliwowych)



Co spowodowało tak szybką utratę wody w basenie? Wyciek, wyparowanie, zagotowanie się?

Co spowodowało wybuch wodorowy?
Kontakt pary wodnej z koszulkami ze stopu cyrkonu

Jaka musiała być temperatura wody?
Reakcja z cyrkonem zachodzi powyżej 800°C

Co oznaczają zarejestrowane skażenia ^{137}Cs poza rejonem elektrowni?
Istnienie ognia w basenie paliwowym oraz topienie się paliwa

Źródło: Science 332 (2011) 24-25

Czy to drugi Czarnobyl?

- Nie! To awaria o bez porównania mniejszych skutkach
- Ale

Według informacji pochodzących z rosyjskiego koncernu ROSATOM, Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) jakiś czas temu zalecała elektrownię Fukushima 1 zamknąć. Eksperti MAEA zwracali uwagę na fakt, że dyrekcja elektrowni nie wzięła pod uwagę lekcji Czarnobyla i awarii amerykańskiej elektrowni TMI. MAEA przedstawiła wykaz zaleceń mogących podnieść bezpieczeństwo. Strona japońska oceniła, że ich wdrożenie będzie równoważne kosztom nowego bloku, i z modernizacji zrezygnowano.

W wyniku trzęsienia Ziemi i tsunami

- 40 reaktorów jądrowych nie przerwało pracy
- 8 wyłączyło się automatycznie i zostało schłodzonych
- 4 w elektrowni Fukushima Daiichi uległy zniszczeniu
- elektrownie gazowe przerwały pracę z powodu uszkodzeń gazociągów
- elektrownie węglowe przerwały pracę z powodu uszkodzeń portów i linii transportowych

Ofiary

- nikt nie zginął w wyniku problemów z reaktorami
- 1 osoba zmarła przygnieciona suwnicą wskutek trzęsienia ziemi
- 2 osoby zostały porwane przez tsunami
- kilkanaście osób zostało zranionych odłamkami w czasie wybuchów
- około 10 000 osób zginęło wskutek trzęsienia ziemi i tsunami, ponad 15 tys. zaginionych

Pierwsze reakcje polityków

DEVASTATION IN JAPAN

Nuclear Power's Global Fallout

The crisis at the Fukushima Daiichi nuclear power plant, like the accidents at Three Mile Island and Chernobyl, is prompting countries around the world to reassess the safety of their plants and their nuclear aspirations. The map on this page provides a snapshot of the number of nuclear reactors in operation (dark blue) and under construction (green), locations of power plants in relation to seismic hazard zones, and reactions to events in Japan in some countries. The following pages examine what we have learned about radiation risks from previous exposures (p. 1504), improvements in safety since the boiling water designs at Fukushima (p. 1506), what to do with the wrecked reactors (p. 1507), and damage to research facilities from the earthquake (p. 1509).

—NEWS STAFF

UNITED STATES

The United States is the world's largest producer of nuclear power, but no new reactor has been built there for 3 decades. The Nuclear Regulatory Commission has ordered a safety review of the 104 existing U.S. plants, some of which are in seismically active areas. The Obama Administration has proposed expanding nuclear capacity largely by stimulating new construction with loan guarantees; opposition to that plan is likely to strengthen.

BRAZIL

Mines and Energy Minister Edison Lobão said Brazil's federal government will review security at the country's twin nuclear reactors at Angra and halt construction of a third, due to go on line in 2015, until the review is completed. The Fukushima crisis has renewed calls to create an independent regulatory agency for nuclear power in Brazil.

ARGENTINA

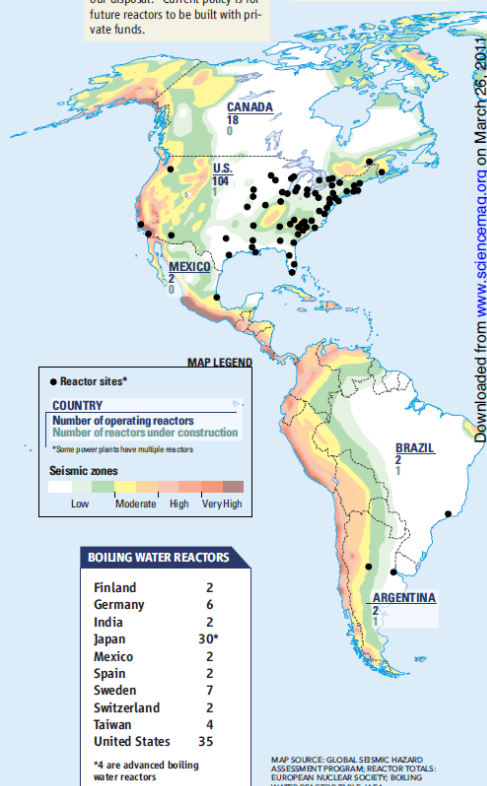
Events in Japan have reopened debate over Argentina's aging reactors. Its oldest plant dates to 1974, and another has been under construction since 1981 but is not yet complete. Critics call it a "Model T."

UNITED KINGDOM

The government has asked its chief nuclear inspector to compile a report on the implications of the Fukushima accident for Britain's current and future nuclear plants. Energy and climate change secretary Chris Huhne said: "We should not rush to judgment. It is important that we have the full facts at our disposal." Current policy is for future reactors to be built with private funds.

FRANCE

The French government has promised a safety audit of the country's 58 nuclear reactors. But the government has made clear that nuclear energy will remain the cornerstone of France's 40-year-old policy of energy independence and has rejected calls for a referendum on atomic energy. France generates over 75% of its electricity with nuclear power, more than any other country in the world.



GERMANY

Chancellor Angela Merkel suspended for 3 months a newly enacted law that postponed Germany's planned phase out of nuclear power. Several older reactors, which got a reprieve under the law, are now being shut down, and some are unlikely to come back on line. During the 3-month moratorium, the government will reassess the safety of all 17 reactors and is expected to propose amendments to the new law in accordance with the findings.

BELGIUM

The Belgian government decided in 2003 to phase out the country's seven nuclear reactors, which produce half of Belgium's electricity. But the first phase, shutting the three oldest reactors by 2015, was recently pushed back 10 years. Environmental groups hope the Fukushima disaster will swing the pendulum back in their direction.

SWITZERLAND

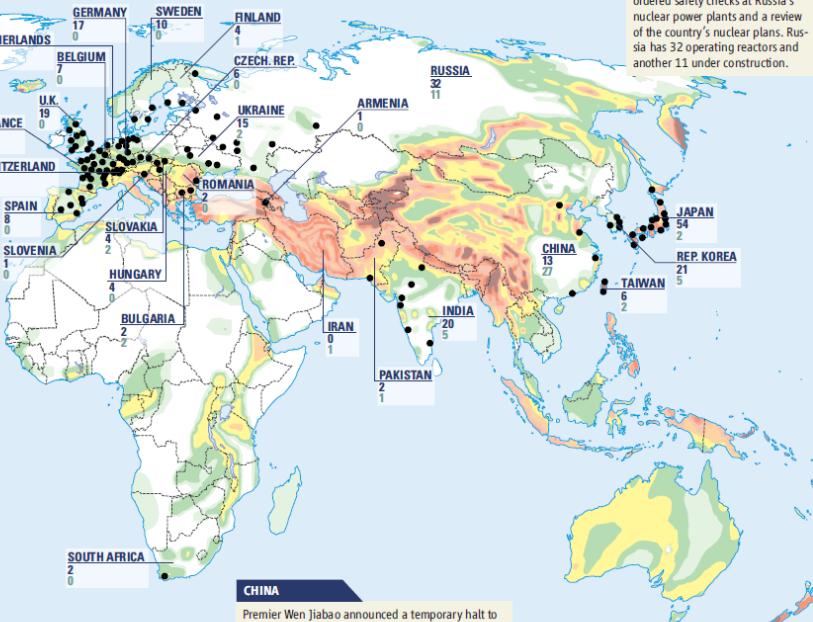
Switzerland generates 40% of its electricity with its five nuclear reactors. Last week, the government suspended feasibility studies for three potential reactors, and politicians across the political spectrum have spoken in favor of a nuclear power phaseout, though most have been vague about a timeline.

ITALY

A 1987 referendum, influenced by the Chernobyl disaster, led to Italy shutting down its four nuclear power plants between 1987 and 1990. Silvio Berlusconi's government has supported plans to build at least four new reactors, starting in 2013. A referendum this spring could block those plans.

RUSSIA

Prime Minister Vladimir Putin ordered safety checks at Russia's nuclear power plants and a review of the country's nuclear plans. Russia has 32 operating reactors and another 11 under construction.



INDIA

Prime Minister Manmohan Singh ordered a safety review of India's 20 operating nuclear reactors. In an interview with *Science*, Srikumar Banerjee, chair of India's Atomic Energy Commission, said no shutdowns are planned. India has five plants under construction and aims to produce 25% of its electricity from nuclear power by 2050.

CHINA

Premier Wen Jiabao announced a temporary halt to assessment and approval of nuclear power projects that are in the planning stage. The government will conduct a comprehensive review of all nuclear facilities, draw up nuclear safety regulations, and adjust its 15-year nuclear power-development plan. China has the world's most ambitious nuclear power program, with 13 reactors in commercial operation, 27 under construction, and as many as 50 more in the pipeline. The temporary halt applies only to projects yet to be approved; China's growing reliance on nuclear power is expected to continue.

SOUTH KOREA

South Korean President Lee Myung-bak ordered safety reviews of the country's nuclear reactors as well as procedures for handling emergencies. The country's 21st nuclear reactor started commercial power production at the end of February, another five reactors are under construction, and further expansion is planned. Knowledge Economy Minister Choi Joong-kyung said now is not the time to review the country's nuclear power policy.

Mikroryzyko ($1:10^6$) jest równoważne



- 2000 km lotu samolotem
- 80 km podróży autobusem
- 12 km jeździe na rowerze
- 3 km jeździe na motocyklu
- wypaleniu jednego papierosa
- spędzeniu dwóch tygodni w jednym pokoju z palaczem
- wdychaniu zanieczyszczonego powietrza przez okres 3-10 dni
- wypiciu pół litra wina
- przepracowaniu 1-5 tygodni w fabryce
- 2500 km podróży pociągiem
- 1-5 minutowej wspinaczce wysokogórskiej

Mikroryzyko w typowych miejscach pracy

- rok w handlu - 10,
- w fabryce - do 100,
- w transporcie - 400,
- w kopalni węgla - 800
- na platformie wydobywczej na morzu - nawet 1800

Ochrona radiologiczna ludności: 1 mSv/rok. Jest to równoważne 50 jednostkom mikroryzyka



- Wypalenie 3 paczek papierosów
- 600 km jazdy na rowerze
- 3250 km jazdy samochodem
- Przekraczanie ruchliwej jezdni 2 razy dziennie
- Picie 1 kieliszka wina codziennie przez rok



Dobrze, że Japonia postawiła na energetykę jądrową

- Nawet stare reaktory wytrzymały niewyobrażalną katastrofę
- Gdyby nie one, po trzęsieniu Ziemi i tsunami Japonia byłaby pozbawiona na wiele lat dostaw energii elektrycznej, gdyż zniszczone zostały m.in. szlaki dowozu węgla do elektrowni węglowych, a trzęsienia ziemi niszczyły też instalacje gazowe.
- Paliwo w elektrowni jądrowej wystarcza na rok lub dwa. Tymczasem elektrownia węglowa może mieć zapas najwyżej na kilka dni i wymaga kilku pociągów węgla dziennie
- Brak energii elektrycznej, to m.in. brak łączności, transportu, wody, produkcji żywności i współczesnej medycyny

Czy energetyka jądrowa ma w Polsce sens?

- Na pewno marnotrawimy wiele energii
- Postęp wymaga jednak coraz większej produkcji energii elektrycznej
- Węgla mamy coraz mniej, zwiększa się wypadkowość przy jego wydobyciu, jest on w elektrowniach węglowych emiterem znaczących ilości CO_2 , SO_x , NO_x a także pozostawiają hałdy pyłów ... promieniotwórczych
- Energia odnawialna, to możliwość zaspokojenia nie więcej niż ok. 12% potrzeb
- Przewiduje się znaczący brak w Polsce energii elektrycznej w ciągu najbliższych 20 lat – nawet do 40%!
- Nie ma innej drogi niż rozwój energetyki jądrowej

Czy odrobiliśmy lekcję?

- Na pewno. Nowe reaktory planuje się do bezawaryjnej pracy przez ponad 100 000 lat. Postawiono bowiem na pasywne systemy bezpieczeństwa
- Wiemy, że nawet wcześniej zbudowane reaktory wykazały się bezawaryjnością
- 28 ofiar promieniowania (Czarnobyl!) przez około 60 lat cywilnej energetyki jądrowej, to mniej niż ginie w Polsce na drogach w ciągu tygodnia!
- Ale społeczeństwa tej lekcji nie odrobiły! Nie wyciągają należytych wniosków, a strach dominuje nad rozsądkiem. Zmiana tej sytuacji powinna stać się celem działań m.in. nauczycieli

Czas, żeby straszdyło odleciało!

