

Wydział Fizyki UW

Podstawy bezpieczeństwa energetyki jądrowej, 2018

11. Awaria w Fukushima i jej skutki wg ocen międzynarodowych

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

Plan prezentacji

- Skala zniszczeń wskutek trzęsienia ziemi i tsunami Tohoku
- Układy chłodzenia w reaktorze BWR
- Przyczyny awarii reaktorów w Fukushima Daiichi
- Skuteczna obrona EJ Daiichi – tam przetrwały generatory awaryjne
- Narażenie radiacyjne pracowników
- Uwolnienia radionuklidów poza elektrownię
- Ewakuacja i jej skutki
- Poziom promieniowania na terenach ewakuowanych
- Oceny WHO, UNSCEAR, IAEA
- Wpływ skażonej wody z elektrowni
- Strach przed promieniowaniem powodem wielu cierpień ludności

Czy awaria w Fukushima była skutkiem drobnego incydentu w układzie chłodzenia?



Japonia – położona na pierścieniu ognia



- Brzeg Japonii przesunął się na wschód do 4 m.
- Gęsta skała tworząca dno Pacyfiku jest spychana w dół w swoim ruchu na zachód do Eurazji.

Trzęsienie ziemi 9 stopień, 0,35 g, w Fukushima 0.18 g, tsunami 7 m .



Energia wyzwolona przez trzęsienie ziemi w Sendai jest równoważna 336 megatons of TNT, i tysiące razy większa od energii bomby w Hiroszynie. Skala zniszczeń jest niewiarygodna.

Największa wyspa przesunięta o 2.4 m- miejscami o 4 m. .

Tsunami: Fala powstająca na morzu rośnie w miarę zbliżania się do brzegu



Japońskie słowo tsu znaczy port & nami znaczy fala



Skutki trzęsienia ziemi i tsunami

Bilans kataklizmu na dzień 30 maja 2011 r. :

- Zabitych lub zaginionych 24,769 osób,
- 475 000 budynków mieszkalnych zniszczonych, częściowo zniszczonych lub zalanych,
- 18 000 zniszczonych budynków użyteczności publicznej,
- 4 000 zniszczonych fragmentów dróg,
- 7 280 zniszczonych odcinków trakcji kolejowej (1 680 zniszczonych przez tsunami),
- 460 000 gospodarstw odciętych od dopływu gazu,
- 4 000 000 gospodarstw odciętych od prądu oraz 800 000 przerwanych linii telefonicznych.

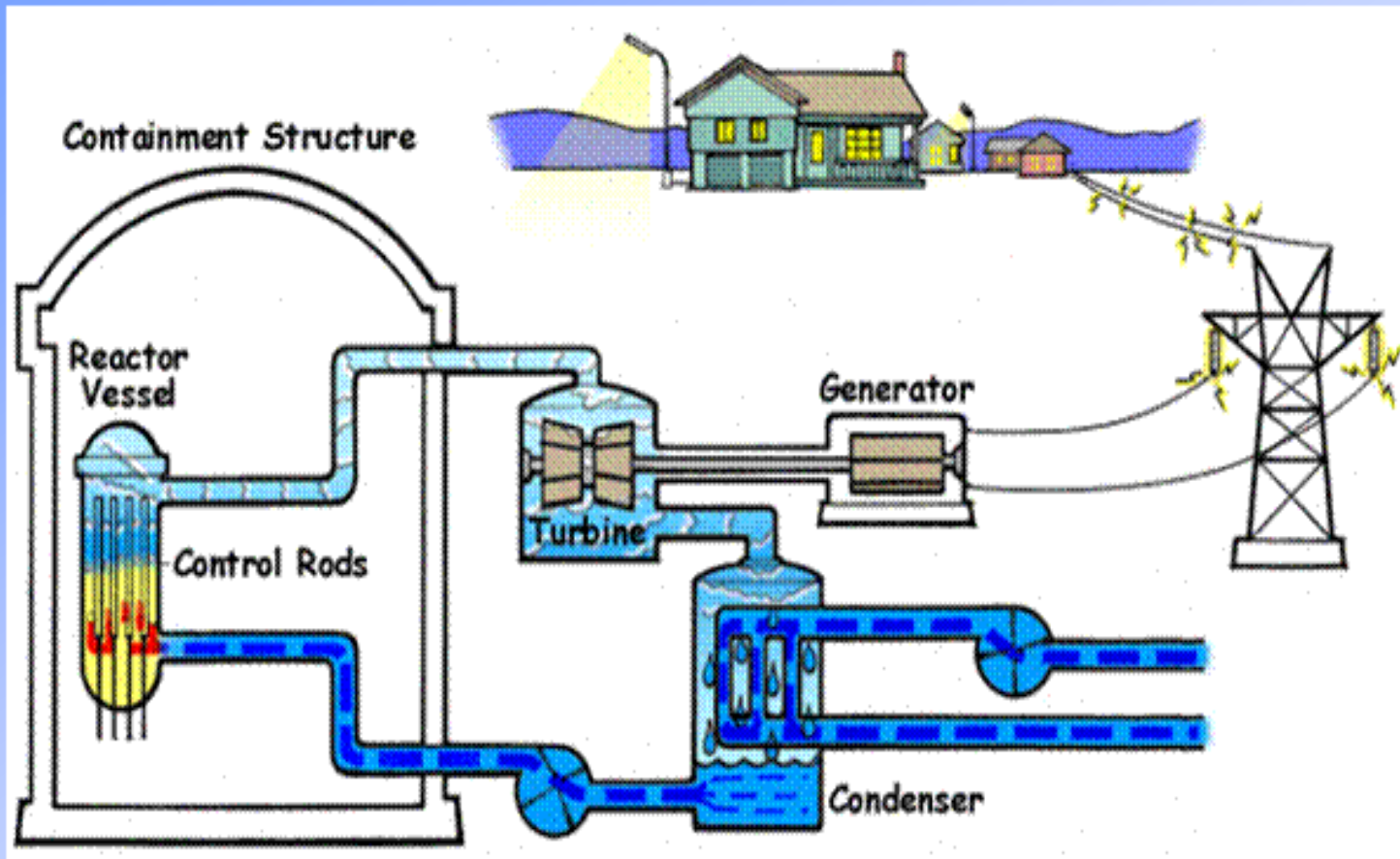
Jak wielkie było trzęsienie ziemi i tsunami w marcu 2011 roku?

Największe trzęsienia ziemi w Japonii		Największe tsunami w Japonii
Tohoku - marzec 2011 -magnituda - 9.0.		Meiji Sanriku 1896 – wysokość 38 m
Hoei - 1707	- magn. 8.6	Tohoku 2011 - wys. max. 38 m
Ansei Tokai-1854	- magn 8,4	Hokkaido Nansei Oki 1993 wys. 31,7 m;

Przeciwnicy energetyki jądrowej pomniejszają skalę kataklizmu – np oświadczają, że *“wystarczy drobne zakłócenie układu chłodzenia i następuje katastrofa”*.

Prawda jest inna – mimo największego w dziejach Japonii kataklizmu nikt nie stracił życia wskutek promieniowania z uszkodzonych reaktorów.

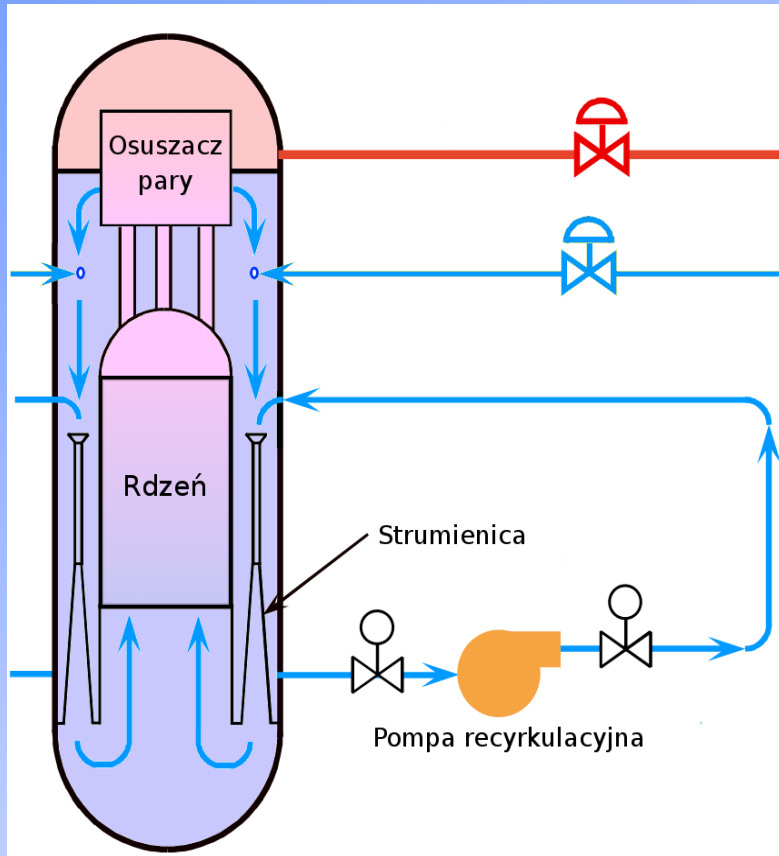
BWR - układ ogólny



W EJ Fukushima pracowały stare reaktory BWR, część z nich miała w najbliższym roku zakończyć pracę, dlatego nie wprowadzano do nich zalecanych przez MAEA ulepszeń.

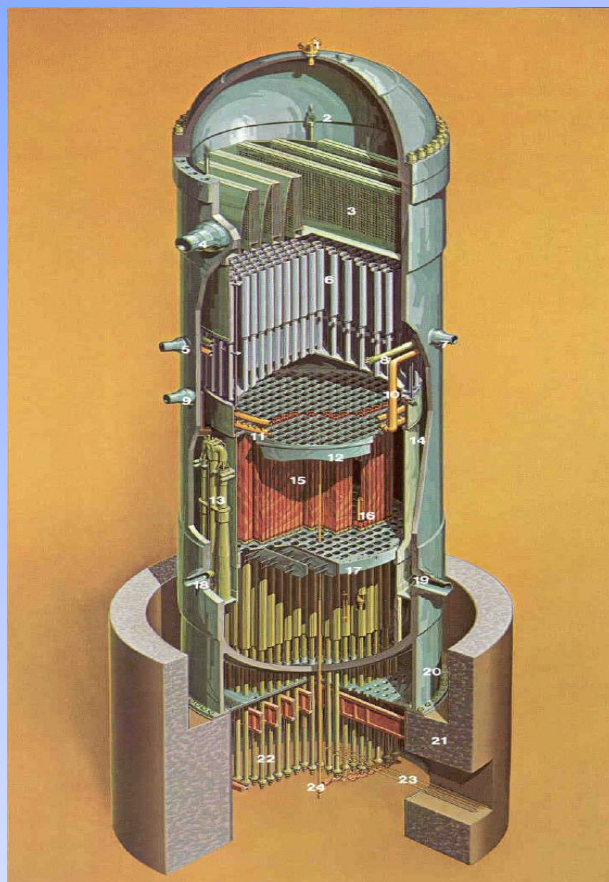
Zr: NRC

Budowa zbiornika



- W rdzeniu odparowuje do 20% przepływającej wody;
- Powstała para jest oddzielana i kierowana do turbiny;
- Woda za pośrednictwem pomp recyrkulacyjnych wraca do rdzenia;

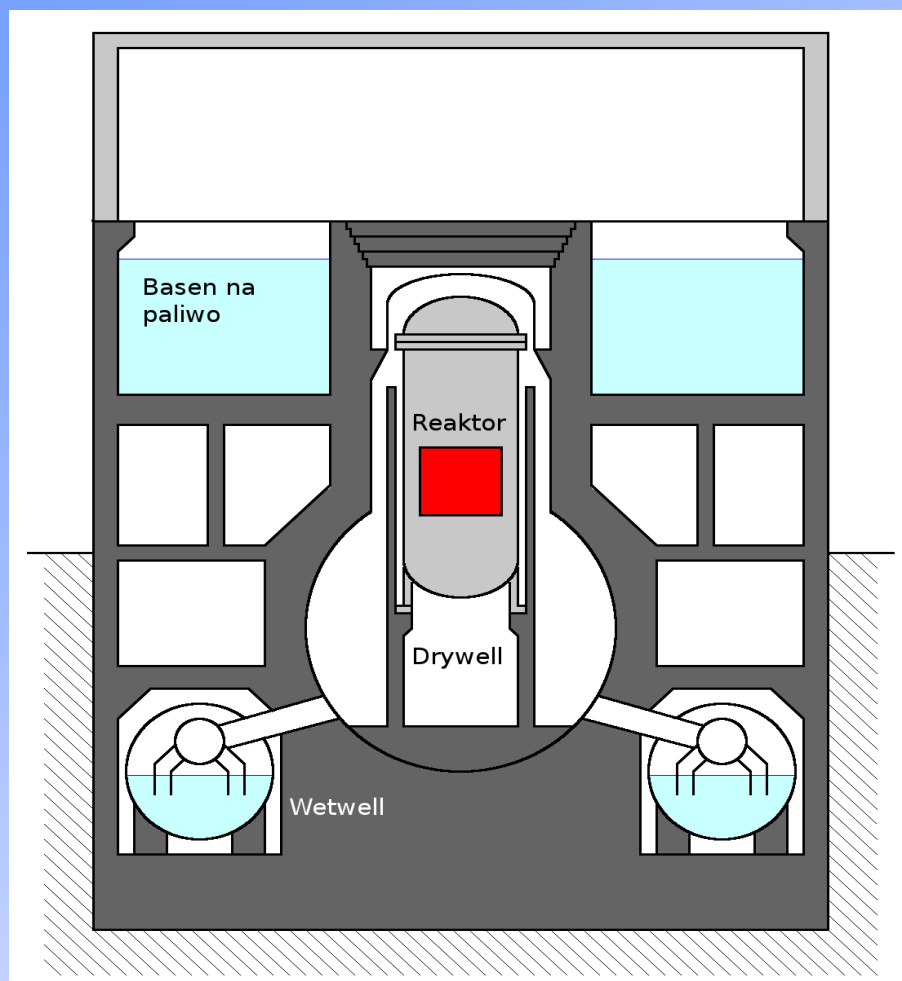
Budowa zbiornika



- } Zbieralnik pary
- } Separatory pary
- } Rdzeń
- } Elementy kontrolne

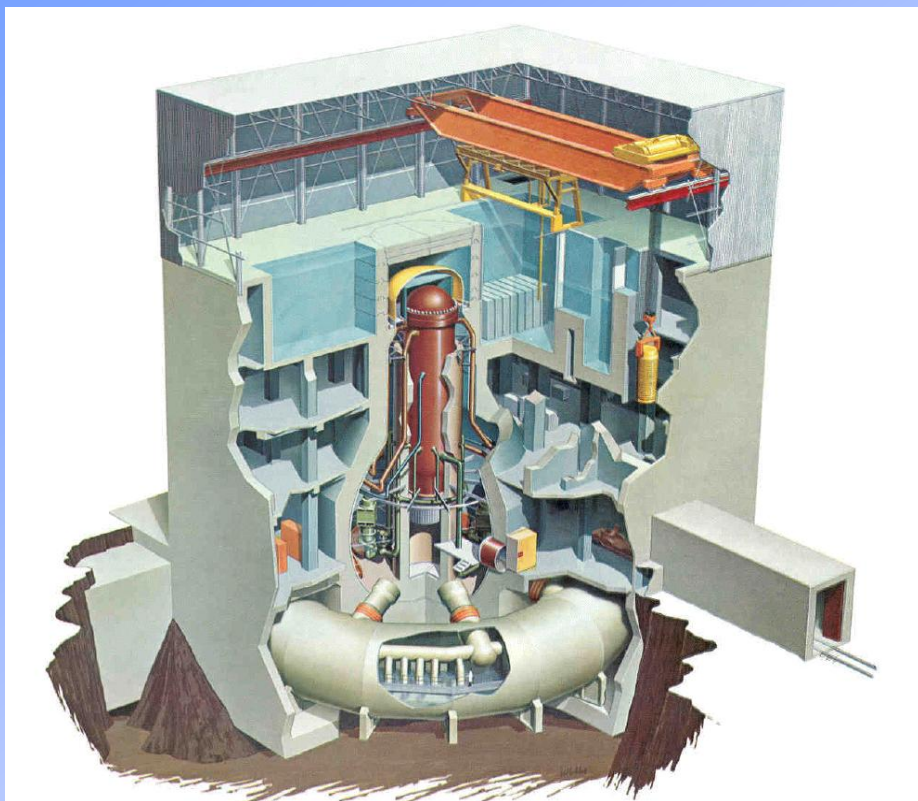
źr: GE

Obudowa bezpieczeństwa 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

Obudowa bezpieczeństwa MARK-I

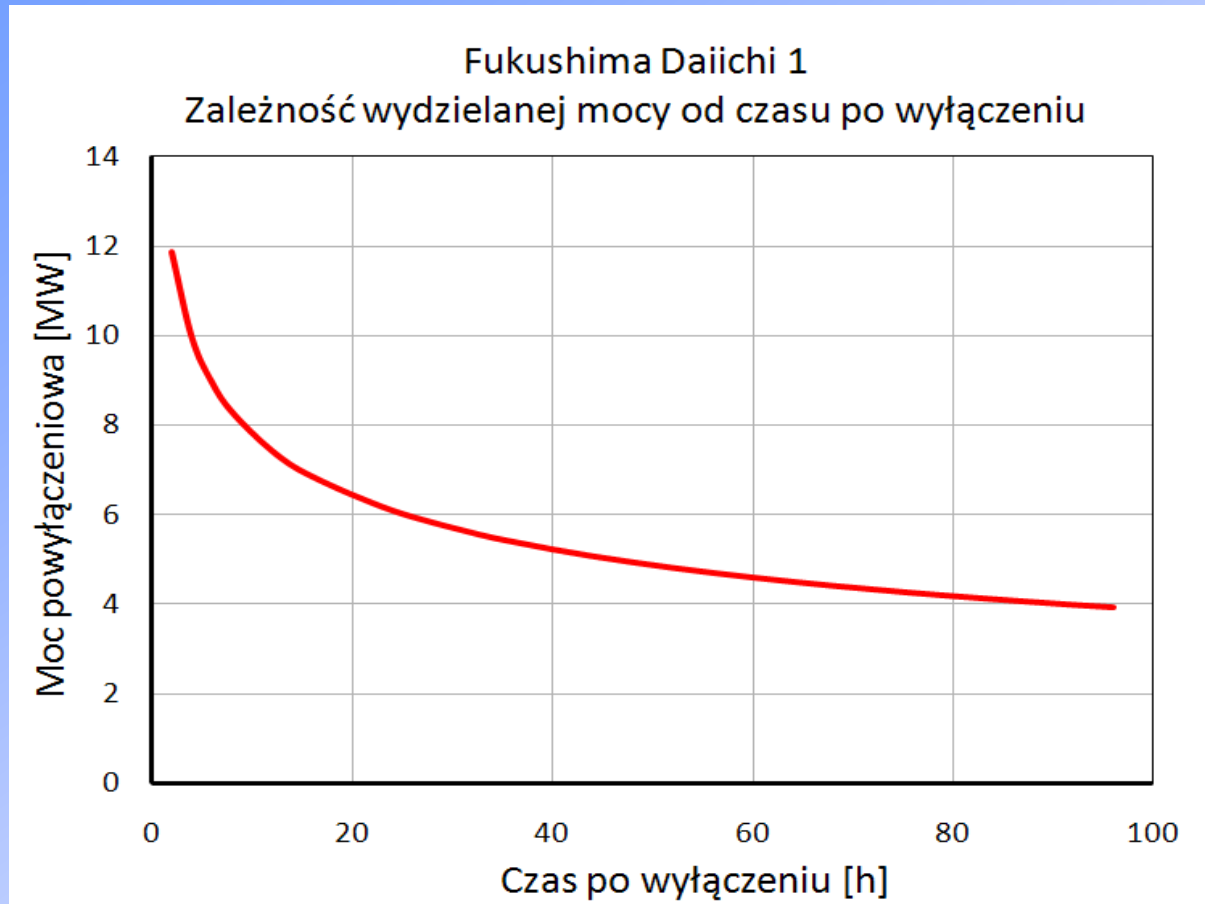


źr: GE



źr: TVA

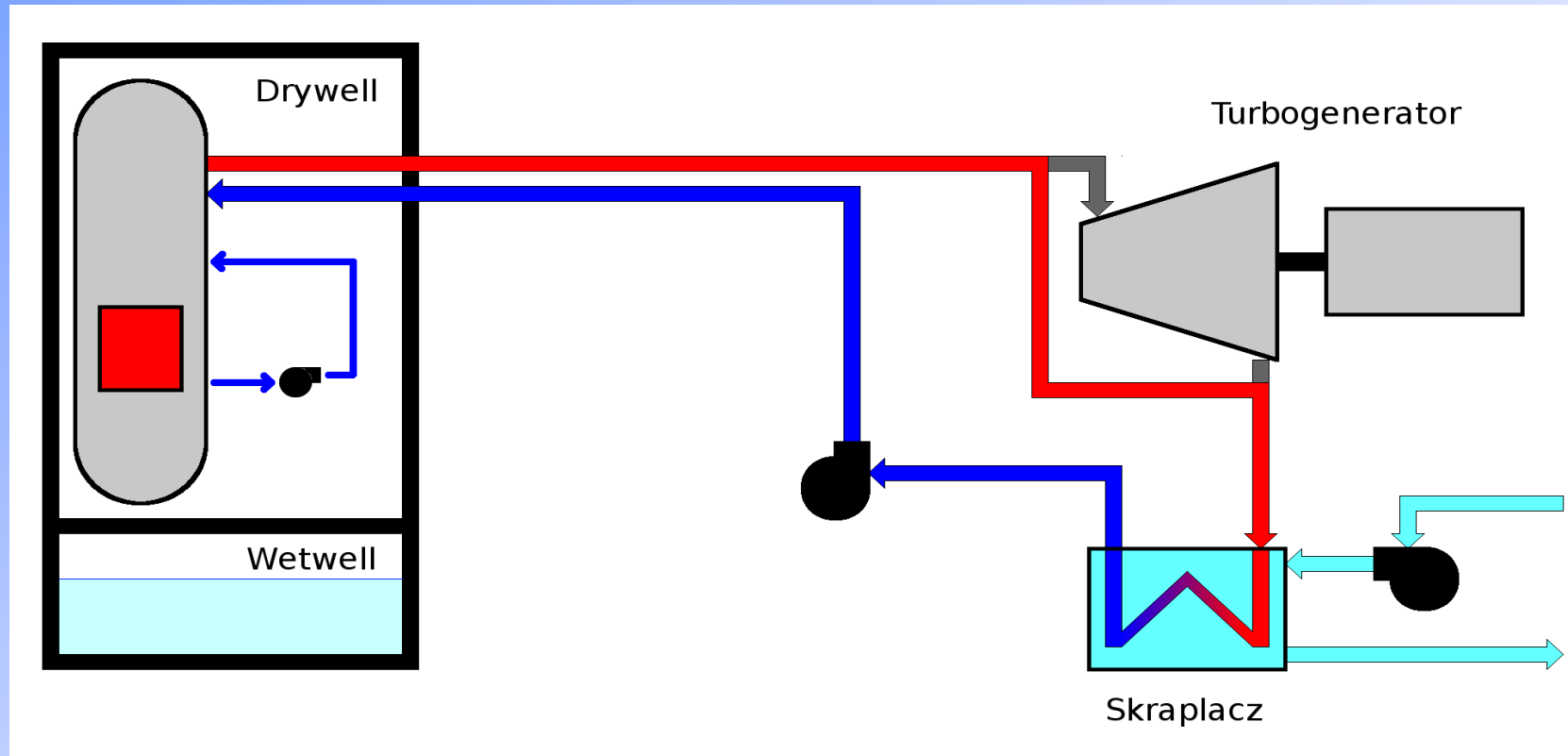
Ciepło powyłączeniowe



- Po wyłączeniu w reaktorze nadal wydzielają się znaczne ilości ciepła
- Po 2 dobach nadal generuje się 5 MW ciepłych w rdzeniu
- Konieczne jest zapewnienie jego odbioru

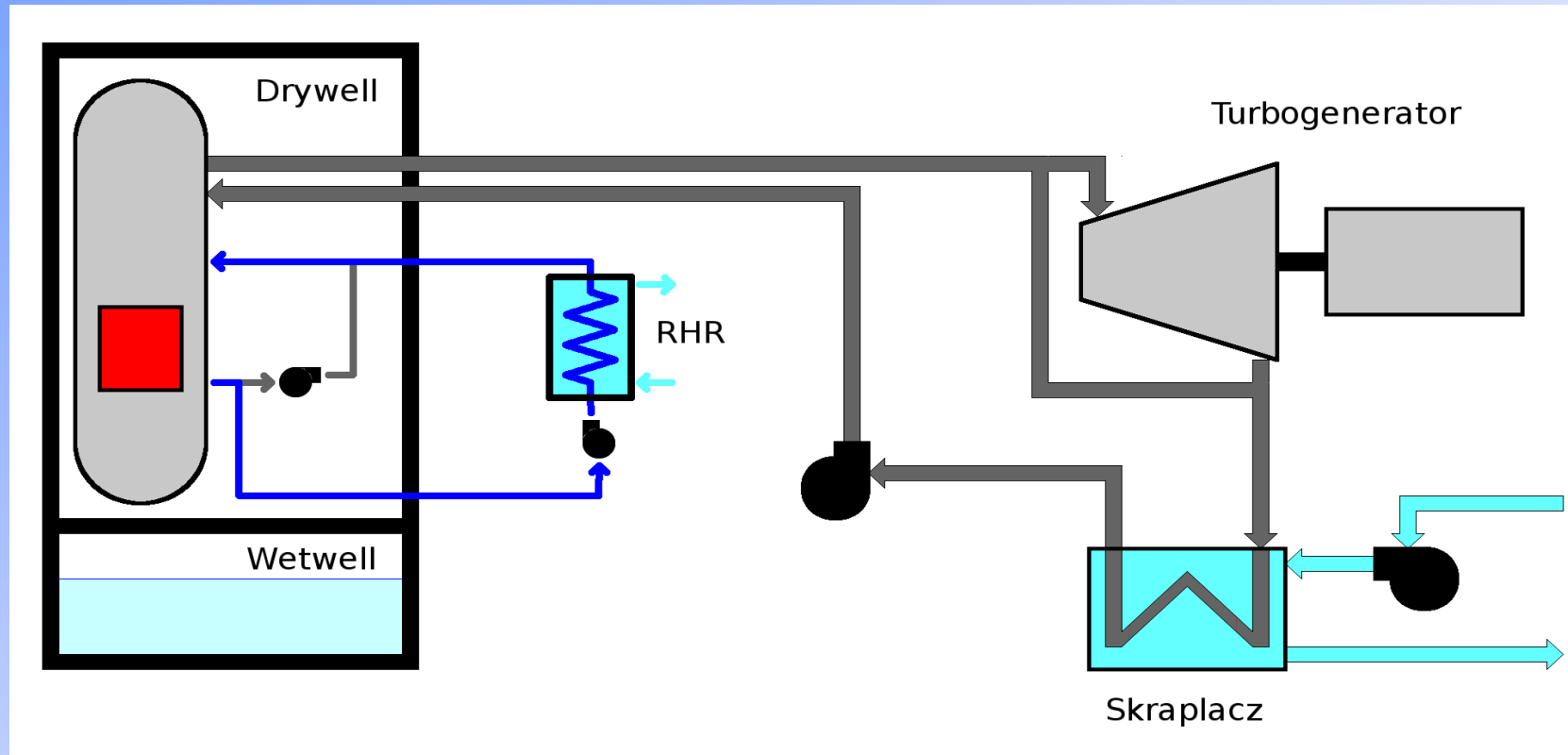
Odbiór ciepła po wyłączeniu

– Bypass turbiny

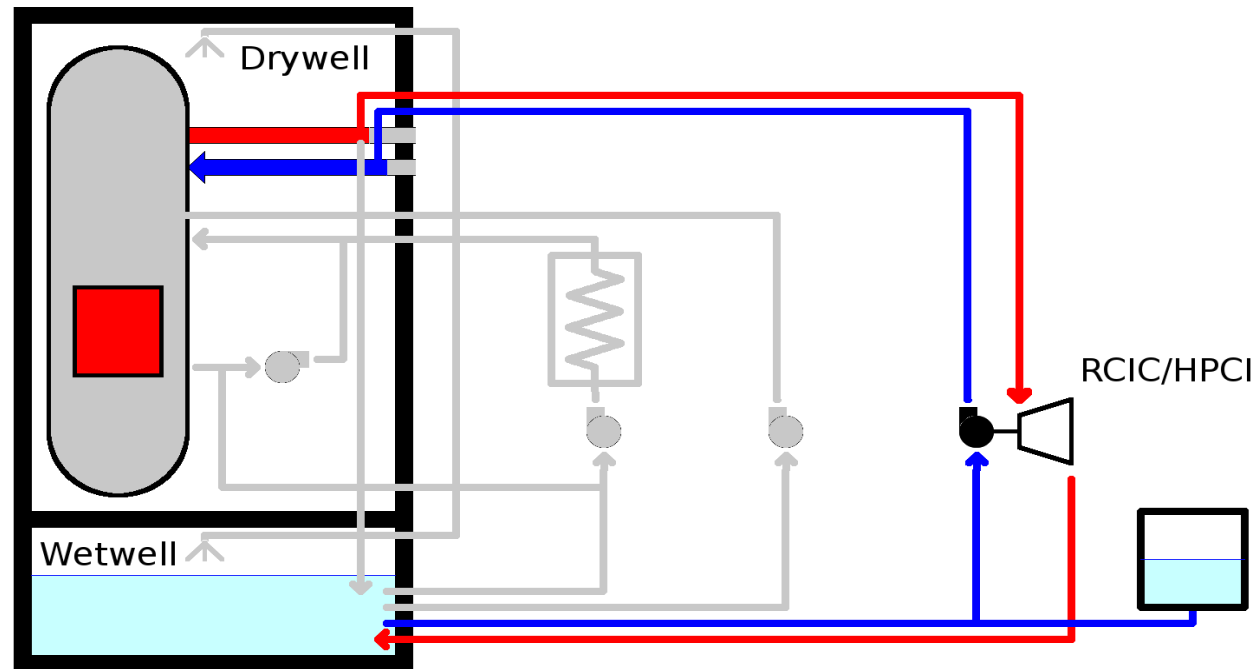


Odbiór ciepła po wyłączeniu

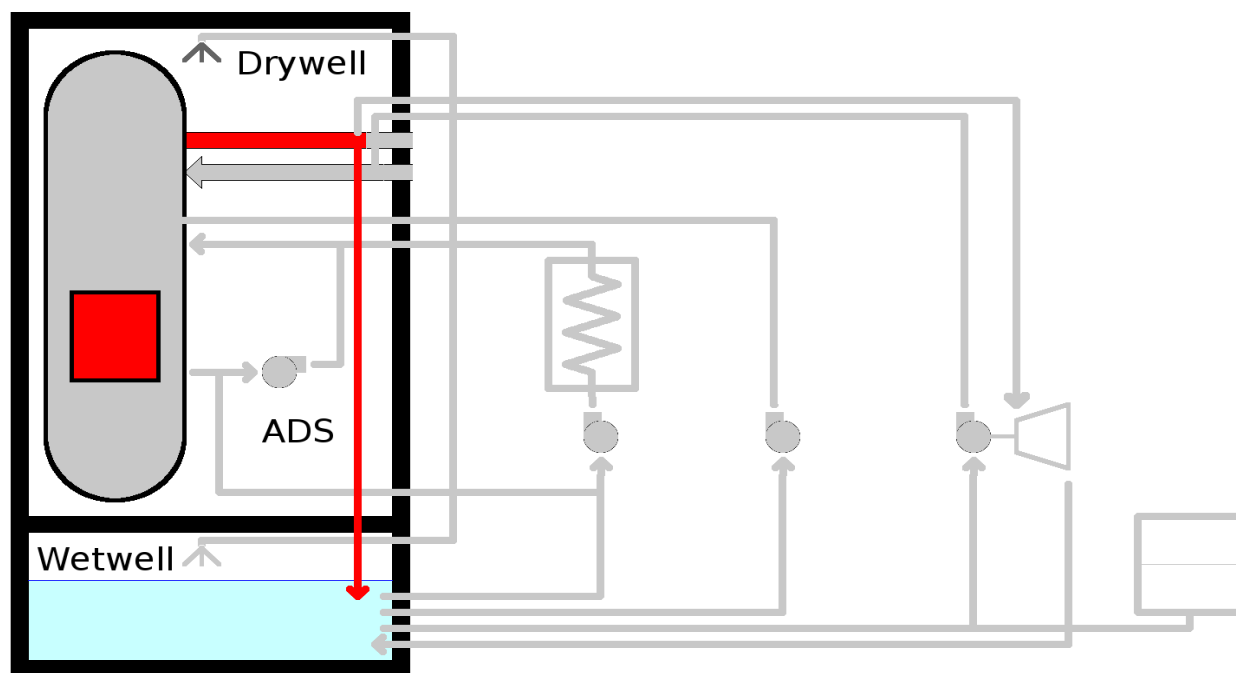
– Residual Heat Removal System



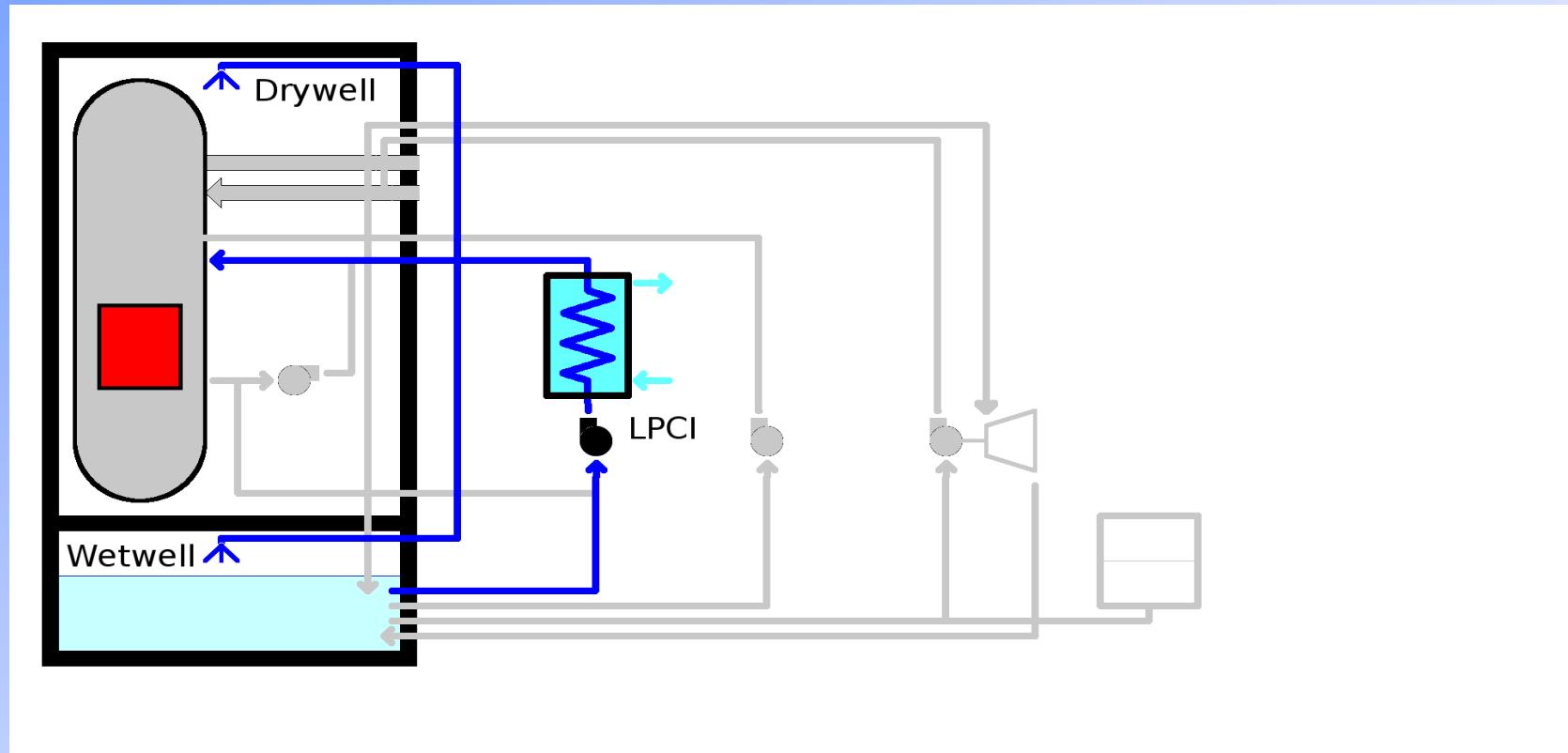
Układ awaryjny: Reactor Core Isolation Cooling



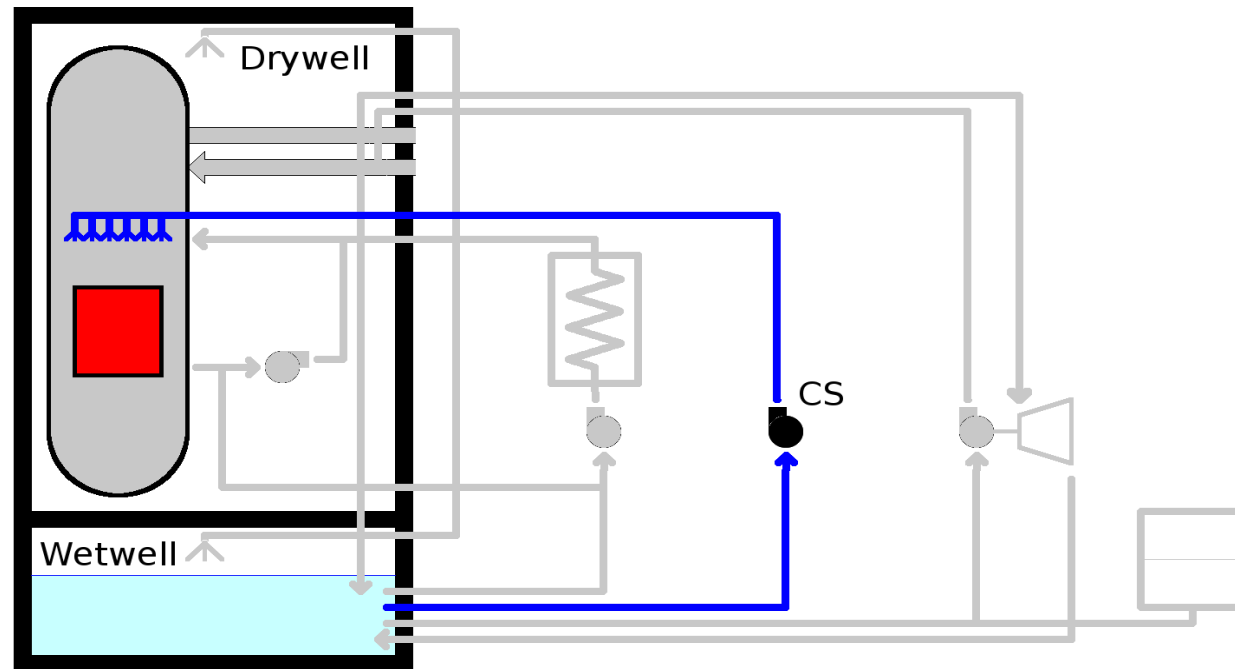
Automatyczny system redukcji ciśnienia. Automatic Depressurization System



Układ nisko ciśnieniowego chłodzenia rdzenia Low Pressure Core Injection



Układ zraszania rdzenia Core Spray



Układy awaryjne - podsumowanie

- Konieczne jest zasilanie prądem przemiennym
- Zasilanie prądem stałym (z baterii) wystarcza na kilka godzin.
- Konieczna jest możliwość odbioru ciepła po stronie wtórnej. Układy działają tak długo, jak długo jest zapewnione ujście ciepła.
- Gdy woda w basenie pierścieniowym (torusie) nagrzeje się do 100 oC, odbiór ciepła ustaje – rdzeń zaczyna się grzać.

Fukushima Daiichi

źr: TEPCO



Stan elektrowni tuż przed trzęsieniem ziemi:

- Fukushima Daiichi
 - Reaktory 1-3: praca z pełną mocą;
 - Reaktor 4: Przeładunek paliwa połączony z wymianą niektórych elementów reaktora, paliwo w całości wyładowane do basenu;
 - Reaktory 5-6: Przeładunek paliwa;
- Fukushima Daini
 - Reaktory 1-4: praca z pełną mocą.

Trzęsienie ziemi

- Trzęsienie ziemi miało 9.0 w skali Richtera i wywołało w elektrowni przyspieszenia rzędu 0.5 m/s^2 .
- Przyspieszenia były zbliżone (lub nieco większe) od projektowych;
- Wszystkie reaktory wyłączyły się automatycznie i wszystkie generatory rozpoczęły pracę;
- Trzęsienie ziemi uszkodziło wszystkie 6 linii elektroenergetycznych prowadzących do elektrowni;
- Późniejsze oględziny elektrowni potwierdziły brak uszkodzeń systemów bezpieczeństwa od trzęsienia ziemi.



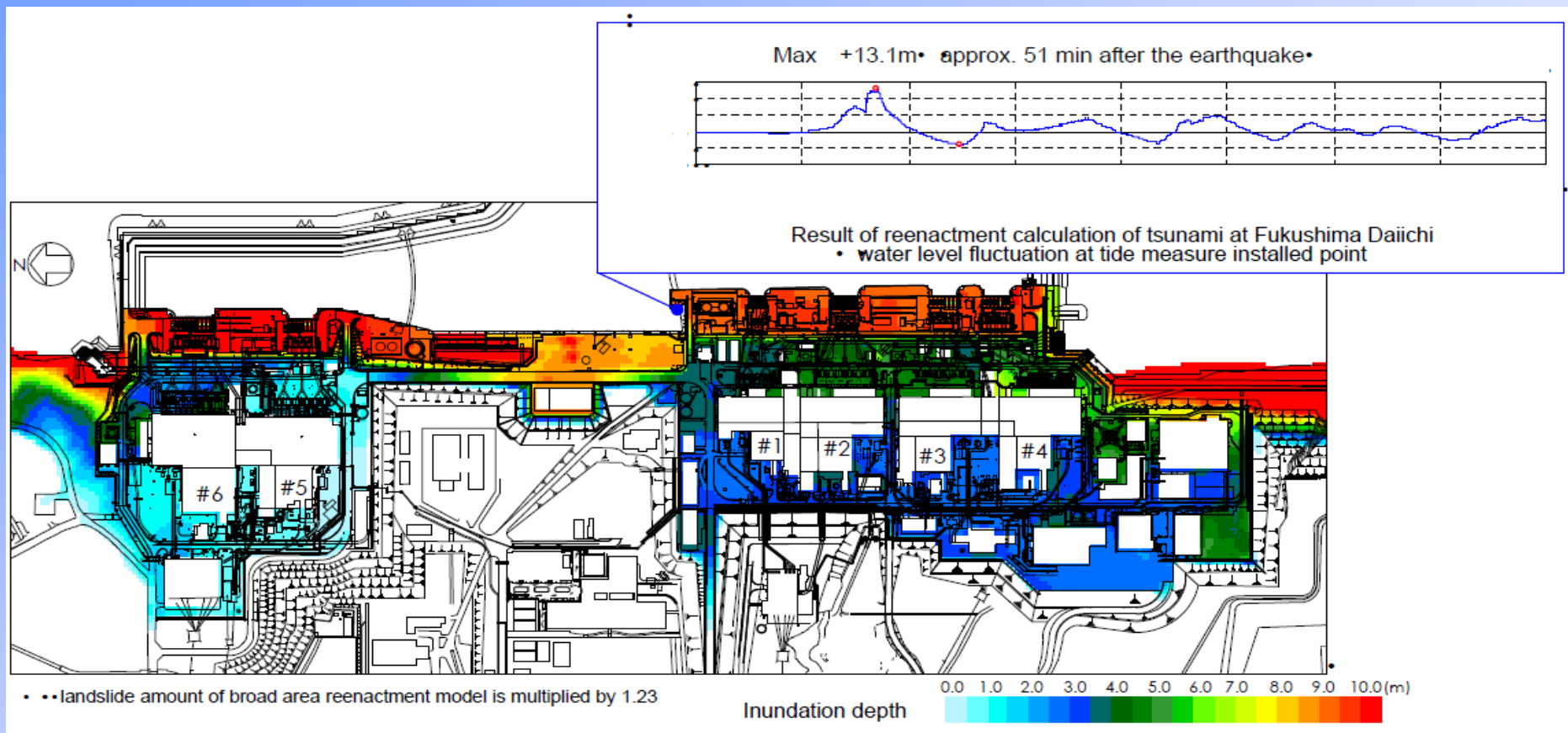
źr: TEPCO

Fala tsunami zalewa EJ

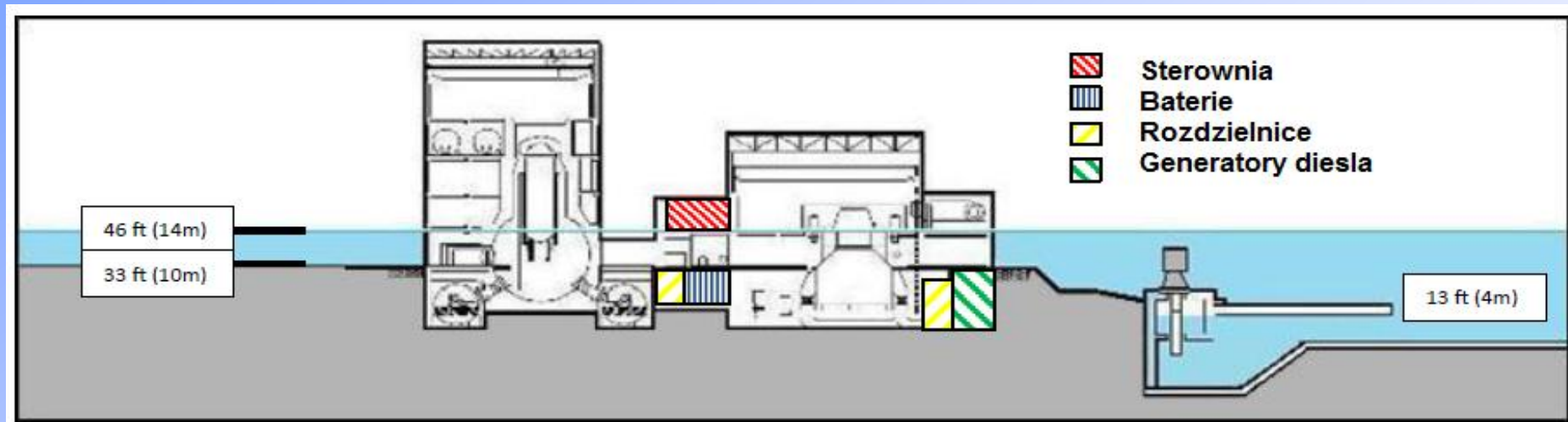


źr: TEPCO

Skutki zalania



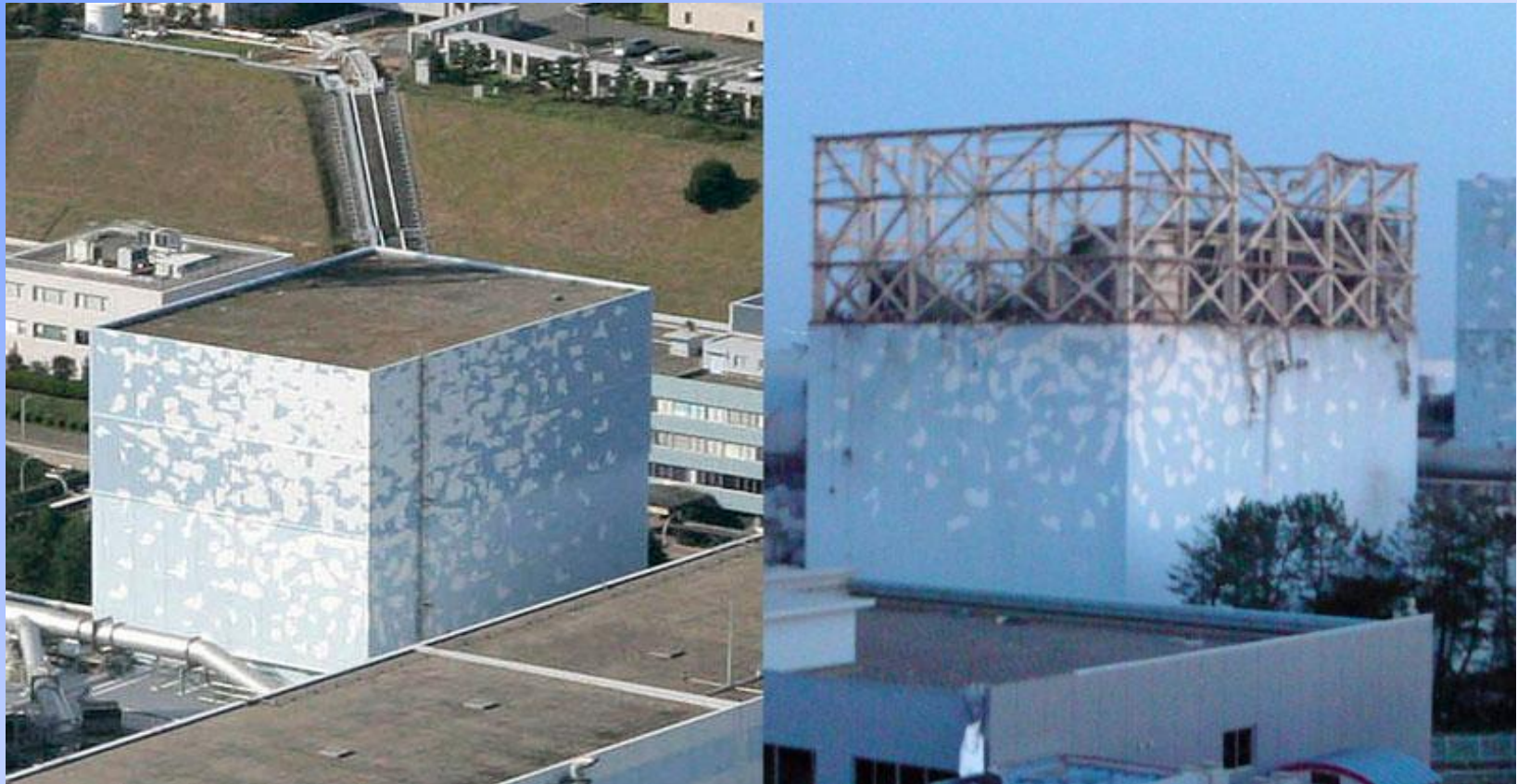
Skutki zalania



Reaktor 1

- Najstarszy, nie miał RCIC.
- 11 III, 14:46 – trzęsienie ziemi, utrata zasilania zewnętrznego, uruchomienie obu generatorów;
- 11 III, 15:37 – tsunami, zalanie generatorów diesla, rozdzielni i baterii, całkowita utrata zasilania, następnie wzrost ciśnienia.
- 12 III, 05:46 – uruchomienie chłodzenia za pomocą wozów straży pożarnej
- 12 III, od 9:15 – okresowe upuszczanie pary
- 12 III, 14:30 – zaobserwowano spadek ciśnienia
- 12 III, 15:36 – wybuch wodoru;

Reaktor 1



Žr: AP/Kyodo News

Reaktor 3

- 11 III, 14:46 – trzęsienie ziemi, utrata zasilania zewnętrznego, uruchomienie obu generatorów, RCIC i RHR;
- 11 III, 15:37 – tsunami, zalanie generatorów diesla, rozdzielni, RCIC kontynuował pracę zasilany ze sprawnych baterii;
- 12 III, 11:36 – wyłączenie RCIC, prawdopodobnie z powodu wyczerpania baterii;
- 12 III, 12:35 – włączenie HPCI;
- 13 III, 2:42 – wyłączenie HPCI, następnie wzrost ciśnienia i spadek poziomu wody
- 13 III, 9:25 – uruchomienie chłodzenia za pomocą pomp p-poż.
- 14 III, 11:01 – spadek ciśnienia w obudowie i wybuch wodoru

Reaktor 3



Reaktor 4

- Reaktor był w chwili nadejścia tsunami wyłączony i trwał przeładunek paliwa;
- Zbiornik reaktora był całkowicie opróżniony z paliwa;
- Kilkanaście godzin po wybuchu w reaktorze 3 doszło do wybuchu w reaktorze 4;



źr: TEPCO

Reaktor 4

- Spekulowano, że kawałki gruzu z reaktora 3 uszkodziły basen wypalonego paliwa z którego wylała się woda a następnie doszło do przegrzania paliwa i generacji wodoru
- Rozpoczęto zalewanie wodą basenu reaktora 4



źr: TEPCO

Reaktor 4

- Po wprowadzeniu zdalnie sterowanego robota z kamerą do basenu wypalonego paliwa stwierdzono brak śladów przegrzania;
- Uważa się, że wodór mógł dostać się do budynku reaktora 4 z budynku reaktora 3 poprzez wspólny układ wentylacji;

źr: TEPCO

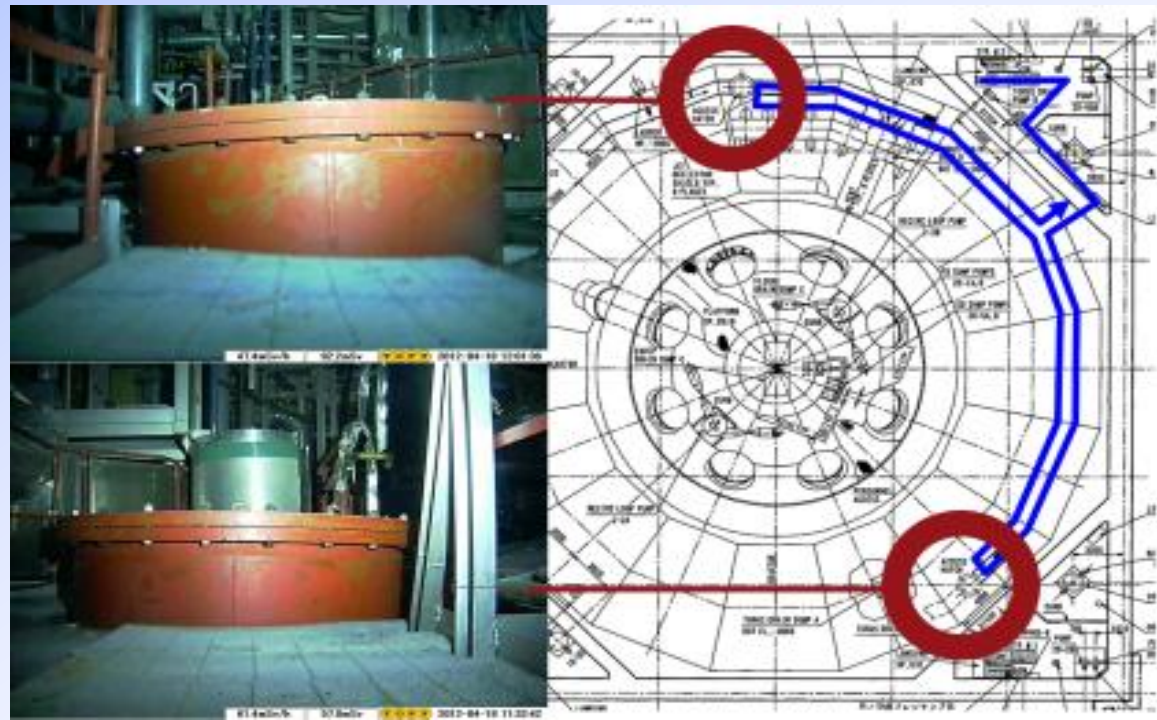


Reaktor 2

- 11 III, 14:46 – trzęsienie ziemi, utrata zasilania zewnętrznego, uruchomienie obu generatorów, RCIC i RHR;
- 11 III, 15:37 – tsunami, zalanie generatorów diesla, rozdzielni i baterii, całkowita utrata zasilania, RCIC uruchomiono ręcznie;
- 14 III, ok. południa – wyłączenie RCIC (prawdopodobnie z powodu przepełnienia zbiornika reaktora i zalania turbiny wodą), wzrost ciśnienia;
- 14 III, 19:54 – rozpoczęcie wtłaczania wody morskiej;
- 15 III, ok. 6:00 – słyszany wybuch we wnętrzu budynku (?), brak widocznych uszkodzeń, spadek ciśnienia, przypuszczalne uszkodzenie obudowy bezpieczeństwa.

Reaktor 2

- W kwietniu 2012 do budynku reaktora wprowadzono robota, który stwierdził brak uszkodzeń torusa, w tym brak uszkodzeń włączów do niego (najsłabszych punktów).
- Nie stwierdzono też żadnych śladów wybuchu aczkolwiek zmierzono moc dawki skutecznej do 120 mSv / h.



EJ Fukushima Daini



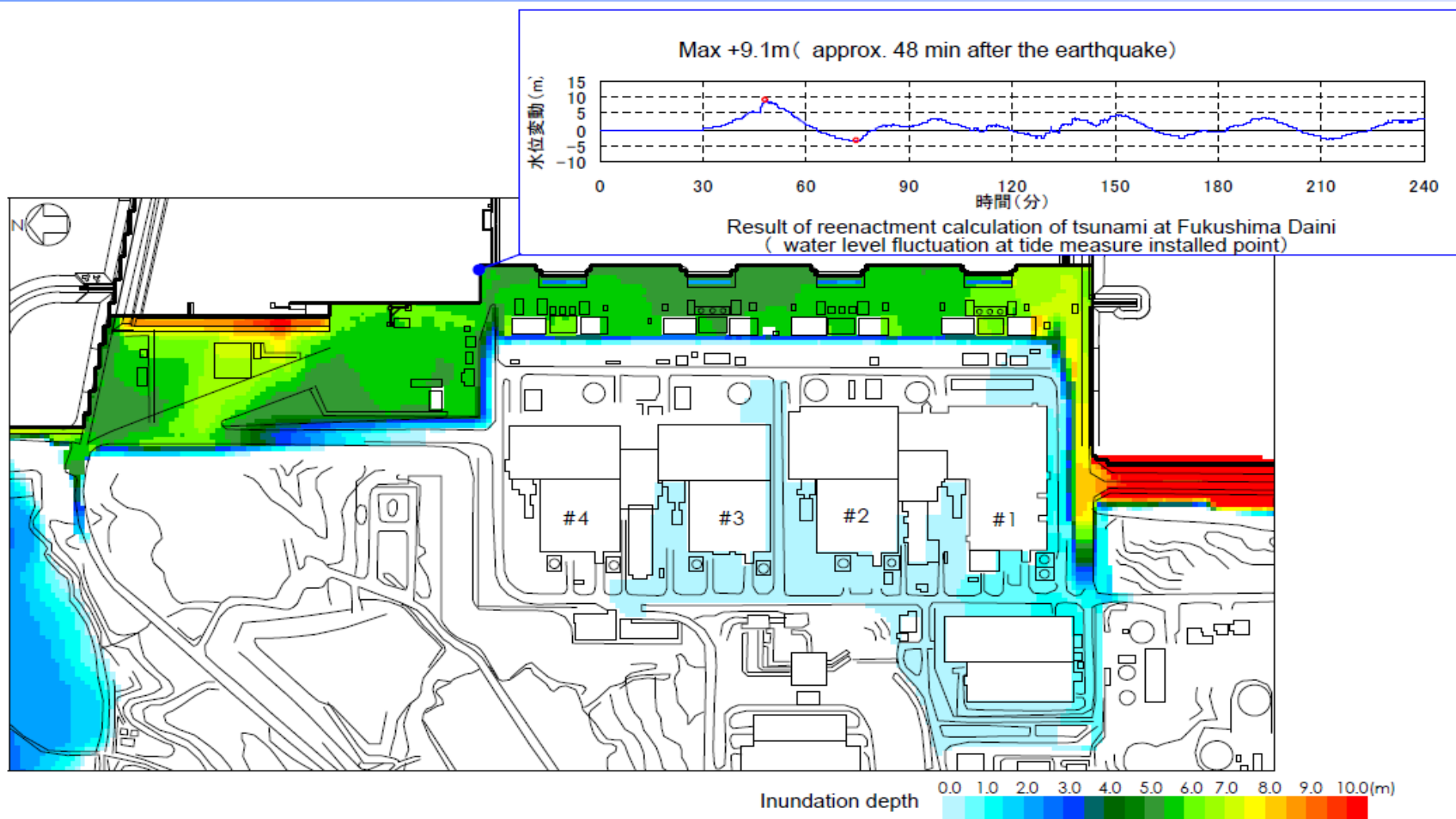
źr: TEPCO

EJ Fukushima Daini – nadejście fali

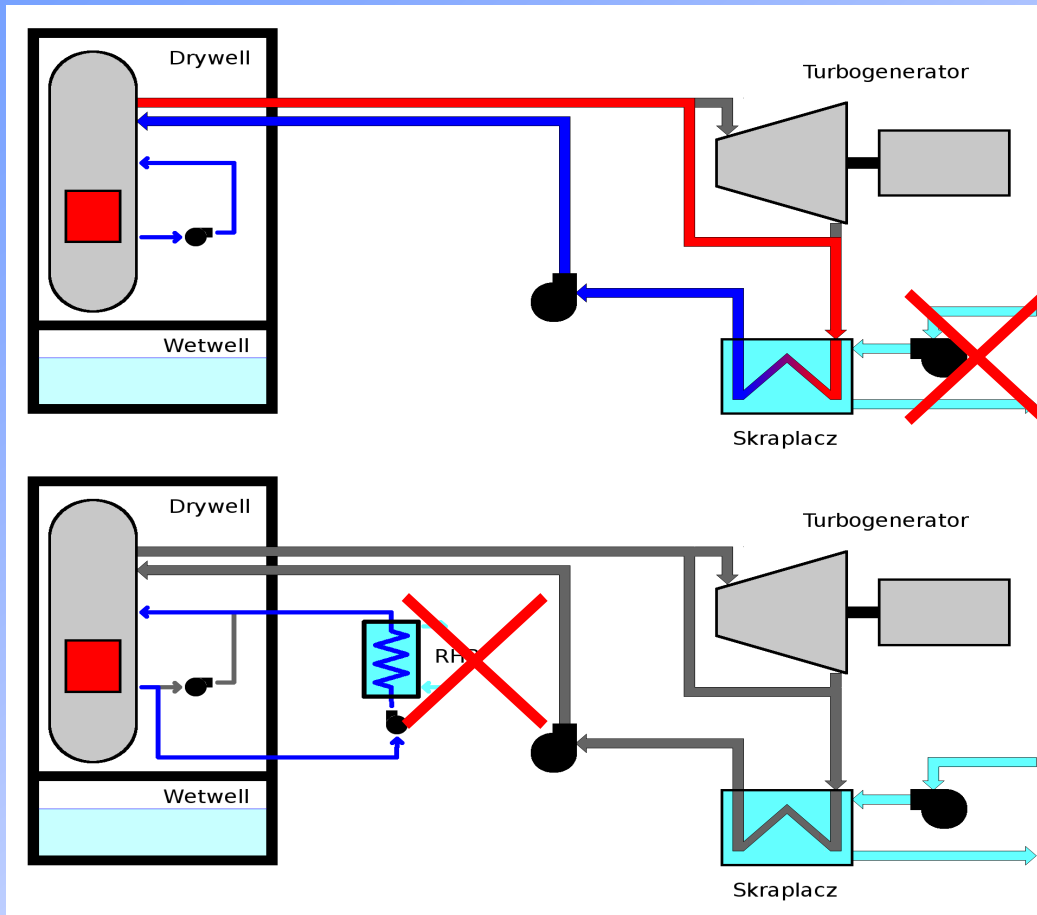


źr: TEPCO

Skutki zalania

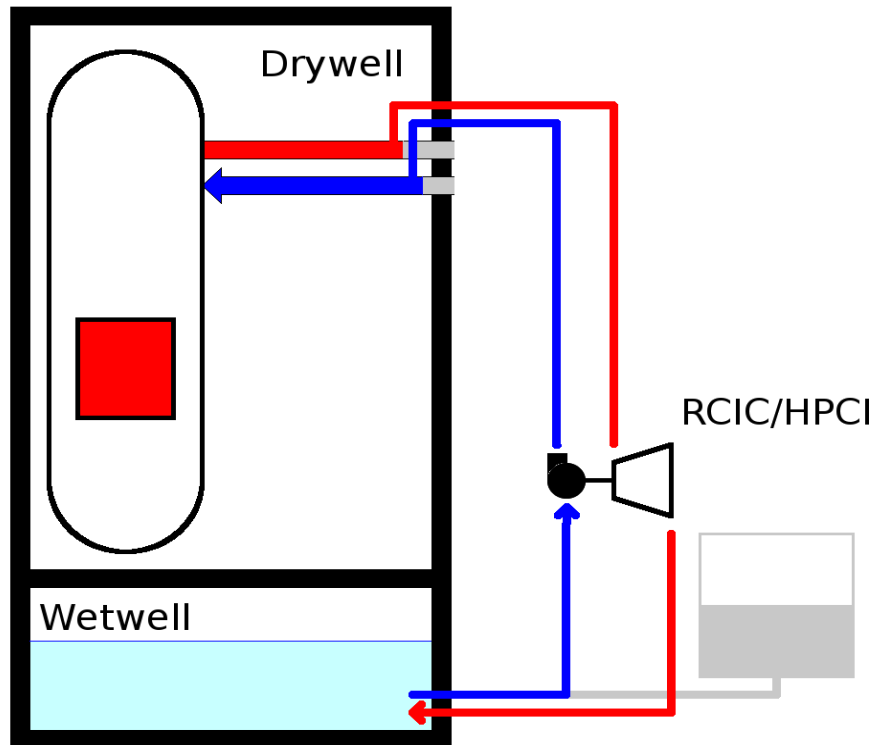


Skutki przejścia tsunami



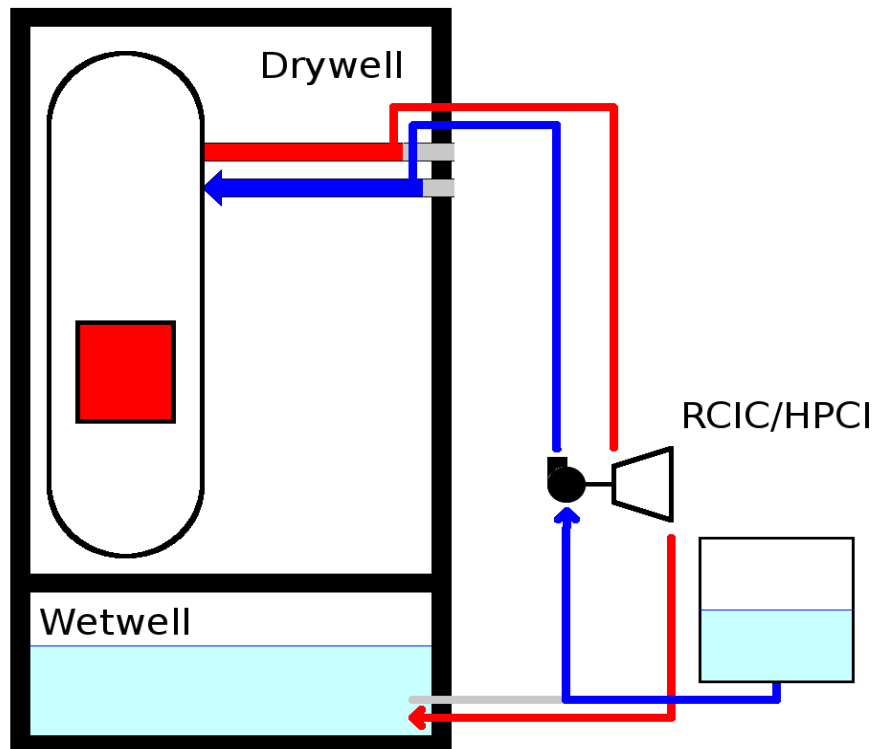
- Elektrownia przetrwała tsunami w dobrym stanie – wszystkie generatory diesela pozostały sprawne;
- Zalana została stacja pomp, co na kilka dni uniemożliwiło oddawanie ciepła do morza;

Układ RCIC



- Działanie RCIC nie było ograniczone pojemnością baterii – 4 z 12 generatorów diesla wciąż działały;
- Działało zasilanie zewnętrzne.

Układ RCIC



- Po kilkunastu godzinach zrzucania ciepła do wetwell, zebrana w nim woda zaczęła wrzeć;
- Układ RCIC przełączono na zasilanie ze zbiornika skroplin;
- Ciśnienie w obudowie zaczęło rosnąć i konieczne stało się okresowe upuszczanie pary do atmosfery do czasu ponownego uruchomienia pompowni.
- **Nie doszło do uszkodzeń rdzeni**

Słabości reaktorów BWR w EJ Fukushima i ich skutki

Niedostateczna ochrona przed tsunami mur 5,5 m. - 13 m.	Zalanie wodą całego terenu EJ
Brak uszczelnień chroniących przed zalaniem	Zalanie silników Diesla, utrata zasilania elektrycznego prądem przemiennym, utrata możliwości dostarczania wody chłodzącej,
Słabość łańcucha układów przekazywania ciepła z rdzenia do ostatecznego ujścia ciepła	Utrata możliwości chłodzenia wody z reaktora, przegrzanie i częściowe stopienie rdzenia.
Brak pasywnych układów rekombinacji wodoru	Brak możliwości rekombinacji H ₂ , duża zawartość H ₂ w wypuszczanych gazach
Słabość obudowy wtórnej	Po wybuchu H ₂ zniszczenie obudowy wtórnej
Niechroniony basen paliwa wypalonego	Słabe osłony przed promieniowaniem , zniszczenie basenu utrata osłon po wybuchu wodoru, utrata chłodzenia basenu.

Problem skażonej wody



źr: TEPCO

- Tłoczona do reaktorów woda gromadzi się następnie w rozlicznych basenach i piwnicach;
- Przygotowano dodatkowe kontenery na wodę oraz uruchomiono instalację do jej oczyszczania;
- Woda jest zasolona. Szacuje się, że w zbiornikach reaktorów znajdują się dziesiątki ton soli.

Skażony gruz

- Na terenie zakładu zalegały znaczne ilości gruzu, który trzeba było zabezpieczyć i wywieźć;



źr: TEPCO

pył

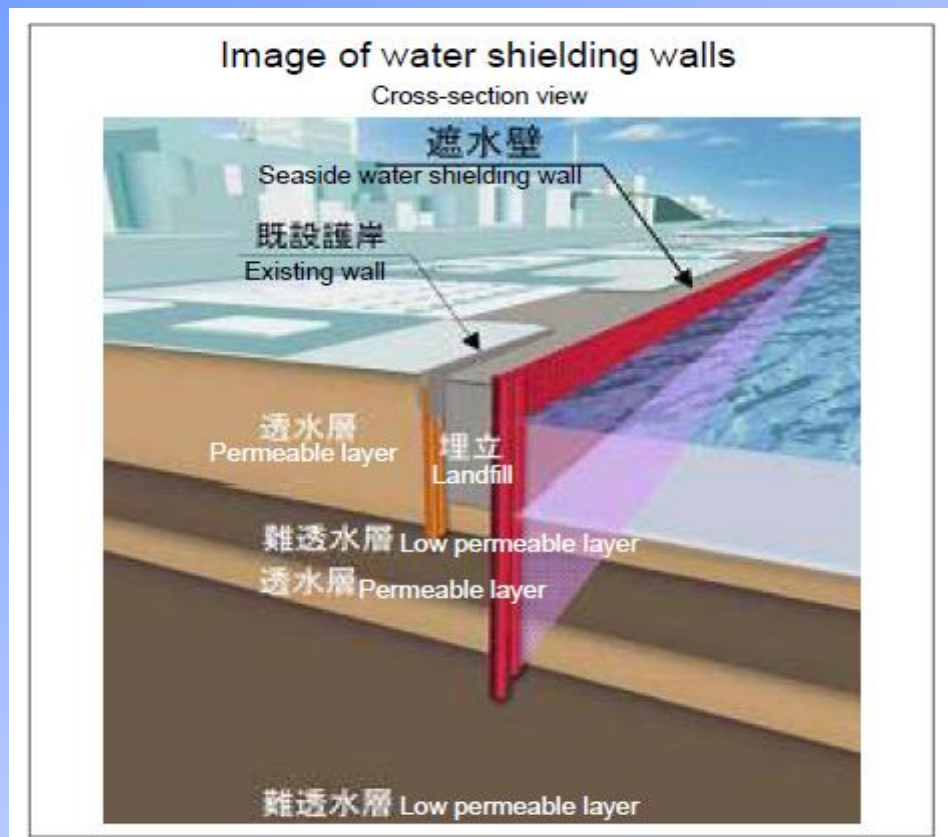


Aby zapobiec wywiewaniu skażonego pyłu, teren zakładu został spryskany specjalnym klejem.



źr: TEPCO

Problem wód gruntowych



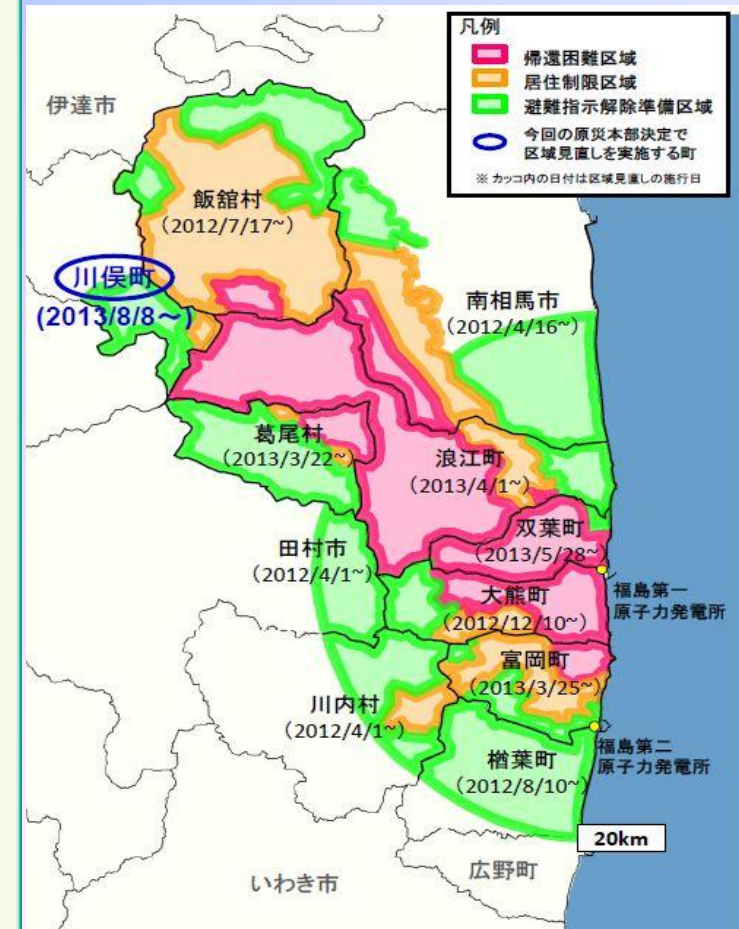
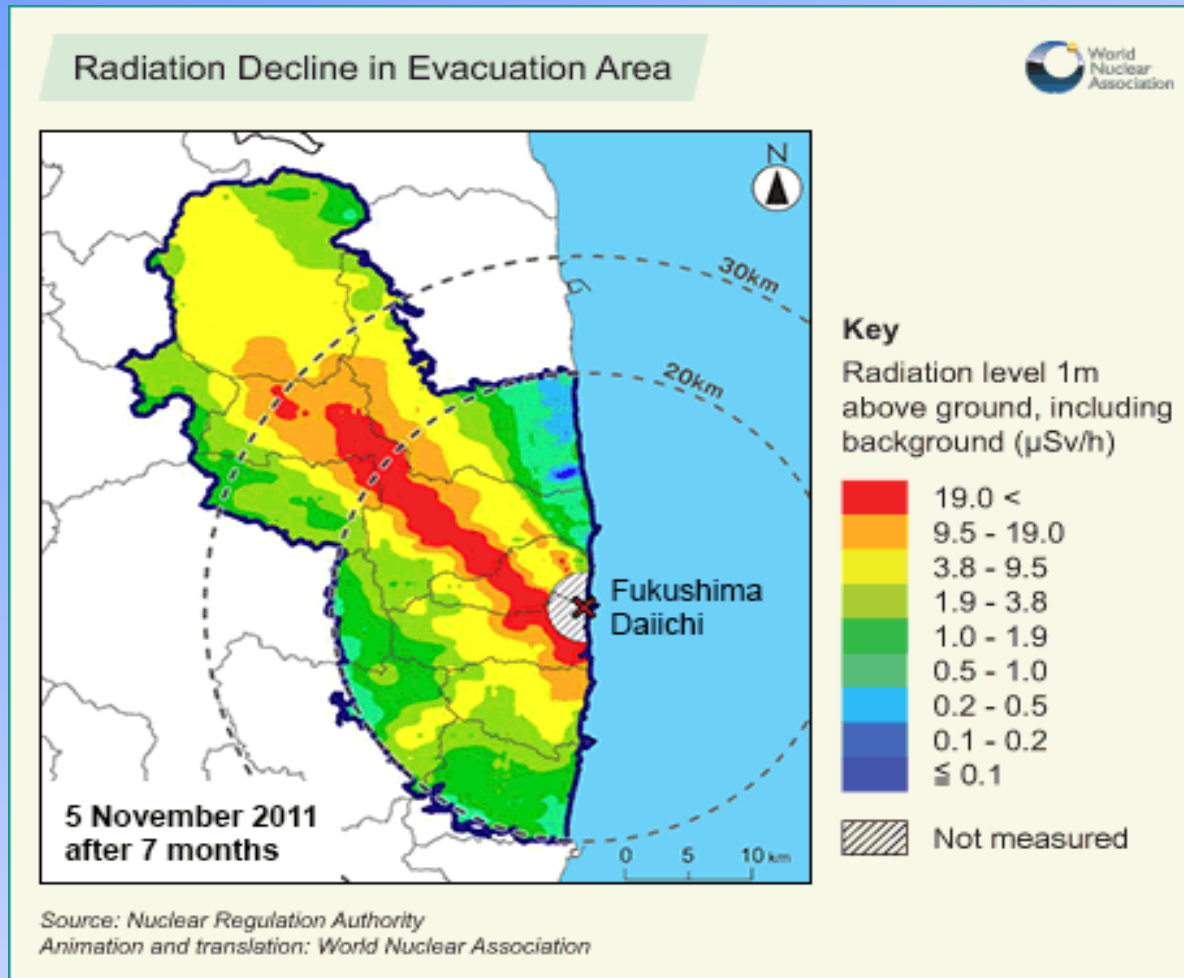
- Radioaktywne substancje zostały spłukane do ziemi i trafiły do wody gruntowej.
- Razem z wodą gruntową wędrują do oceanu...

Budowa osłon („namiotów”)



źr: TEPCO

Skażenie okolicy i ewakuacja



Powód awarii - niedostateczne zabezpieczenie przed falą tsunami

- Fakty:
- W największym w historii Japonii trzęsieniu ziemi i tsunami uległa zniszczeniu EJ Fukushima ze starymi reaktorami BWR
- Powód- niedostateczne zabezpieczenie przed falą tsunami, której wielkość źle ocenili japońscy hydrologzy.
- Skutek – ewakuacja ludności w promieniu 30 km.
- Ale ani jednego zgonu wskutek promieniowania z uszkodzonych reaktorów!
- Całkowita ilość substancji promieniotwórczych wydzielonych do otoczenia to 1.6×10^{17} Bq jodu ^{131}I (okres połowicznego rozpadu : 8.0 d) i 1.5×10^{16} Bq cezu ^{137}Cs (30 lat)] a więc około 10% aktywności uwolnionej po awarii w Czarnobylu.,

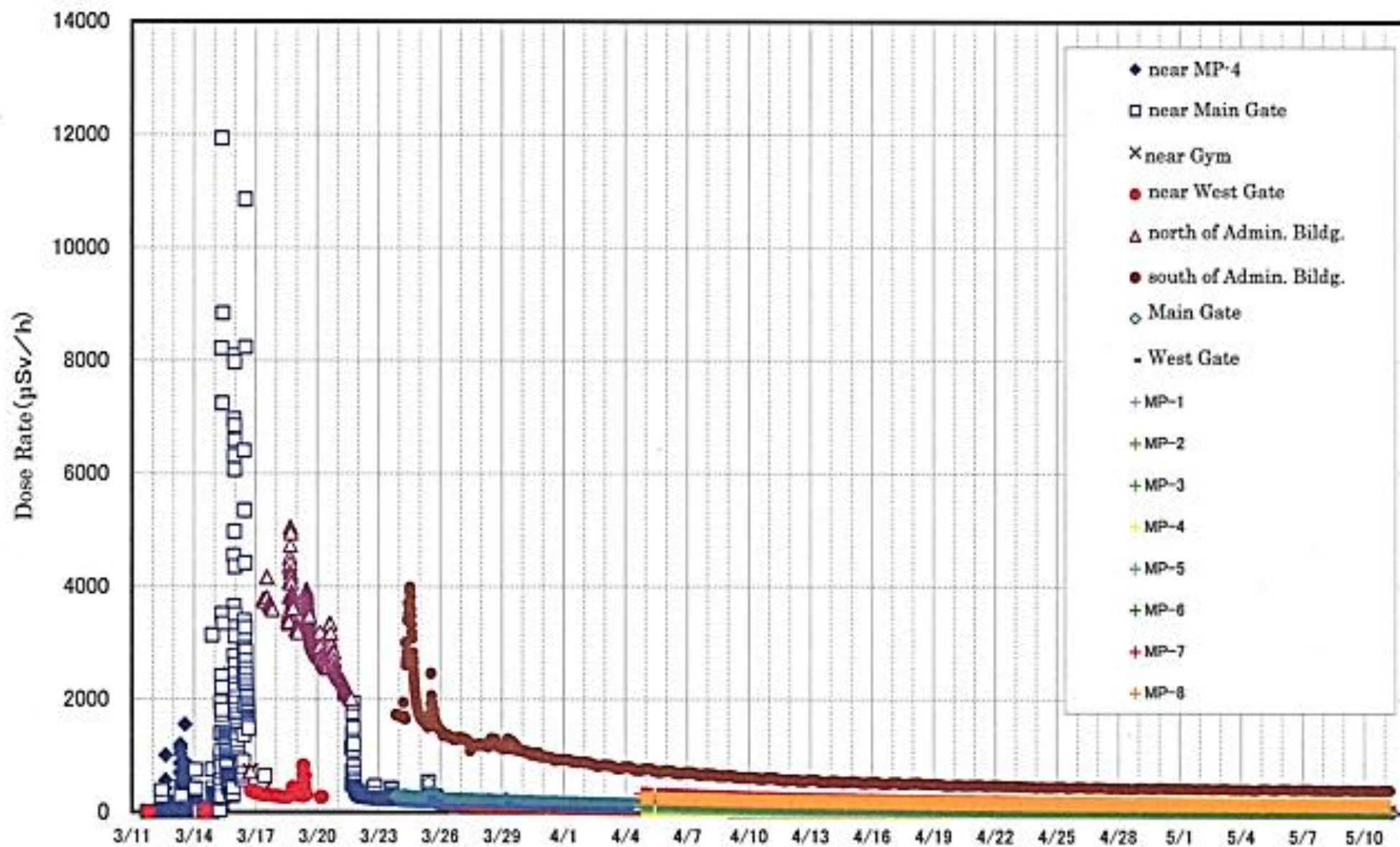
Reaktory wytrzymały trzęsienie ziemi – pokonało je tsunami

- Mimo potwornego trzęsienia ziemi okazało się, że obudowa bezpieczeństwa nawet najstarszych reaktorów - projekt z 1965 r. - może wytrzymać wstrząsy sejsmiczne
- Obudowy reaktora 1 i 3 wytrzymały też uderzenie tsunami i wybuchy wodoru... natomiast pompy i awaryjne generatory elektryczne nie były zabezpieczone przed tsunami .
- Gdy znikło zasilanie elektryczne, a pompy zniszczyło tsunami, zabrakło chłodzenia rdzenia znajdującego się pod wysokim ciśnieniem. Zaczął się wyścig z czasem o obniżenie ciśnienia i uruchomienie pomp niskociśnieniowych, zanim paliwo ulegnie przegrzaniu.
- Praca w najtrudniejszych możliwych warunkach – po kompletnym zniszczeniu kraju, jakby po wielkiej wojnie.

Skutki radiologiczne awarii w EJ Fukushima – moce dawki w elektrowni

- Choć w żadnym reaktorze stopione paliwo nie wydostało się poza obudowę bezpieczeństwa, to awaryjne upusty pary oraz eksplozje wodoru spowodowały uwolnienie do atmosfery znacznych aktywności produktów rozszczepienia.
- Aktywność ich stanowiła około 10% aktywności uwolnionej z 4-tego bloku EJ w Czarnobylu. Awarię w EJ Fukushima Dai-ichi zakwalifikowano jako awarię stopnia 7 w skali INES.
- Największą moc dawki równą 12 mSv/h zanotowano 15 marca o godz. 9:00 (3 godziny po wybuchu wodoru w bloku reaktora 3).
- Od końca marca 2011 moc dawki spada do poziomu około od 10 μ Sv/h (na obrzeżach EJ) do 300 μ Sv/h w pobliżu reaktorów 1-3

Zmiany mocy dawki w okresie 11 marca – 10 maj 2011 wewnątrz EJ Fukushima Daini-ichi



Napromieniowanie pracowników EJ Fukushima Dai-ichi

- 12 marca: 17 osób doznało skażeń twarzy.
- 12 marca: Podczas prac odpowietrzających reaktora 1, u jednego pracownika TEPCO zanotowano dawkę **106,3 mSv**
- 24 marca 3 pracowników ciągnących kable na 1 piętrze i parterze w hali turbin reaktora 3 otrzymało dawki na skórę stóp w wysokości 2-3 Sv, co odpowiada dawce skutecznej na całe ciało około **170 mSv**.
- 30 maja w organizmie u dwóch pracowników wykryto jod promieniotwórczy I-131, oszacowane dawki wynosiły:
 - pracownik A: 678 mSv (narażenie zewnętrzne: **88 mSv**, narażenie wewnętrzne 590 mSv)
 - pracownik B: 643 mSv (narażenie zewnętrzne: **103 mSv**, narażenie wewnętrzne 540 mSv)

Dawki otrzymane przez pracowników w ciągu 3 lat po awarii

Od chwili awarii w marcu 2011 do 31 stycznia 2014 w Fukushima pracowało 32 000 osób, w tym 4000 załogi z TEPCO i 28 000 robotników kontraktowych. Wśród nich 173 otrzymało dawki powyżej 100 mSv, (poprzez napromieniowanie zewnętrzne i wewnętrzne) w tym 9 osób otrzymało dawki powyżej 200 mSv.

Dawki dopuszczalne dla pracowników narażonych zawodowo w Japonii wynoszą przy normalnej pracy 100 mSv w ciągu 5 lat, ale tylko 50 mSv w ciągu jednego roku.

Do pracy w warunkach wielkiej awarii ustalono wyższy limit mianowicie 250 mSv w ciągu roku. Jest on dwukrotnie niższy niż limit zalecany przez ICRP (500 mSv) dla przypadków działań interwencyjnych mających zapobiec narażeniu innych osób.

Dawki otrzymane przez pracowników nie przekroczyły tego limitu.

Uwolnienia radionuklidów do otoczenia podczas awarii

- W uwolnieniach dominowała aktywność jodu I-131, o okresie połowicznego rozpadu 8 dni. Innym ważnym radionuklidem był Cs-137 (30 lat), łatwo unoszony w chmurze radioaktywnej i mogący skazić duże tereny. Przy rozpadzie powoduje on silną emisję gamma. Uwalniany był także Cs-134 (2,5 roku).
- Cez jest rozpuszczalny w wodzie i przyswajany przez organizm człowieka. Jego okres biologiczny połowicznego zaniku wynosi 70 dni. Przy ocenie zagrożenia z powodu uwolnień do atmosfery, aktywność Cs-137 mnoży się przez 40 i dodaje do aktywności jodu I-131 by dać wartość „równoważną zagrożeniu od jodu I-131”.
- Gdy zawiodło chłodzenie reaktorów, rząd nakazał ewakuację mieszkańców.

Skutki radiologiczne awarii w EJ Fukushima – moce dawki poza elektrownią

- Obszar podwyższonych skażeń promieniotwórczych o powierzchni około 1500 km² i obwodzie 200 km rozciągał się w promieniu 60 km na północny zachód od EJ Fukushima Dai-ichi, obejmując około osiem prefektur. Stężenia Cs-137 były zróżnicowane i zmieniały się od 15 MBq/m² do 0,3 MBq/m² (w Polsce najwyższe stężenia Cs-137 po awarii w Czarnobylu były około 50 kBq/m² i nie stanowiły żadnego zagrożenia).
- Z rozkładem przestrzennym stężeń w/w izotopów korelował rozkład mocy dawek zmieniający się od 90 μSv/h do 1 μSv/h.
- Warto nadmienić, że moc dawki równa 1 μSv/h = 8,7 mSv/rok jest bliska promieniowaniu tła ziemskiego w niektórych krajach np. Norwegii czy Finlandii. W Polsce promieniowanie tła wynosi około 0,1 μSv/h.

Przesadna reakcja władz japońskich - niepotrzebna ewakuacja

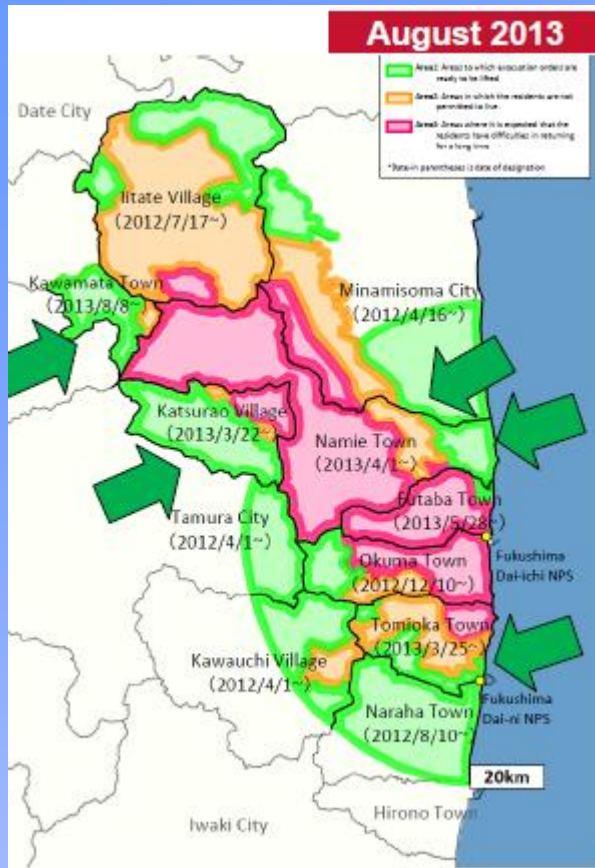
- Raport UNSCEAR i raport Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) zgodnie stwierdzają, że władze japońskie zareagowały przesadnie i wymusiły ewakuację wielu ludzi, którzy mogli spokojnie pozostać w swoich domach.
- Przeprowadzenie szybkiej ewakuacji i wstrzymanie jedzenia pokarmów ze skażonej strefy przez 2 miesiące (co wystarcza by jod I-131 uległ rozpadowi promieniotwórczemu i przestał istnieć) wystarczało, by wyeliminować zagrożenie nowotworowe dla tarczycy i innych organów..
- Ale po 2 m-cach ludzie mogli wrócić do tych terenów, gdzie promieniowanie było mniejsze niż w wielu rejonach świata. Niestety, nie pozwolono im wskutek nacisku organizacji antynuklearnych, którym zależy bardziej na zamknięciu EJ niż na życiu osób ewakuowanych

Ewakuacja po trzęsieniu ziemi, tsunami i awarii jądrowej spowodowała zgony.

Wskutek stresu i wyczerpania psychicznego spowodowanego ewakuacją lub wskutek braku opieki medycznej i przerwane go leczenia wśród osób ewakuowanych nastąpiło 1671 zgonów. Przyczyny przedwczesnych zgonów wśród ewakuowanych to przypadki takie jak:

- ▪ Odmowa przeniesienia do wskazanego szpitala, temperatury poniżej zera, trudności w dostarczeniu żywności, brak opieki lekarskiej
- ▪ Pozostawienie na podłodze w szpitalu po trzęsieniu ziemi, przewiezienie do ośrodka ewakuacyjnego bez pomocy lekarskiej
- ▪ Pozostawienie przez 4-5 dni w mokrym ubraniu
- ▪ Umieszczenie w wynajętym pomieszczeniu, gdzie był upał w lecie, utrata sił i apetytu, zła praca nerek
- ▪ Lekarze i pielęgniarki zostali ewakuowani, pozostawiając pacjentów w szpitalu.

Powroty na tereny ewakuowane



Powroty ludności na tereny ewakuowane już się zaczęły i trwają. Jednakże jest to sprawa skomplikowana:

Pewne tereny cierpią jeszcze wskutek zniszczeń spowodowanych przez trzęsienie ziemi i tsunami – brak wody, elektryczności, gazu – a bez tego ludność nie może na stałe tam mieszkać.

Jak stwierdza raport Uniwersytetu w Fukushima:

→Unclear timeline and delay in rebuilding living infrastructures are the major impediments.

	Areas for which evacuation orders are ready to be lifted	< 20mSv/year
	Areas in which residents are not permitted to live	< 20mSv/year & < 50mSv/year
	Areas where residents will have difficulties in returning for a long time	> 50mSv/year

W każdej społeczności potrzeba pewnej „masy krytycznej” by można było przywrócić tam normalne życie

Dodatkowym utrudnieniem jest strach przed promieniowaniem, hamujący powroty ludzi chociaż nie ma żadnego zagrożenia

Odszkodowania za szkody materialne, za przesiedlenie i zmianę warunków życiowych

Do 11 lipca 2014 zgłoszono przeciw TEPCO ponad 2,2 miliony pozwów o odszkodowanie.

TEPCO zaspokoiło już ponad 2 miliony żądań, wypłacając 40 mld USD.

W grudniu 2013 r. ustalono wysokość odszkodowań dla mieszkańców ewakuowanych ze strefy 3, którzy nie będą mogli szybko powrócić i powinni zacząć nowe życie w innych miejscowościach.

Odszkodowania będą wypłacane w postaci jednorazowej sumy, a ponadto przez rok lub kilka lat będą wypłacane zasiłki miesięczne.

Celem tego zarządzenia jest skłonić ludzi do możliwie najszybszego ustabilizowania życia w nowych rejonach

Wykrywane przypadki raka tarczycy są wynikiem wzmożonych badań przesiewowych

W lutym 2014, japońskie Min. Środowiska zorganizowało szkolenie dot. promieniowania i raka tarczycy [NEA Monthly News Bulletin - March 2014].

Stwierdzono, że okres utajenia raka tarczycy wynosi minimum od 4 do 5 lat i szeroko prowadzone ultradźwiękowe badania przesiewowe wokół Fukushima wykryły więcej przypadków raka tarczycy niż oczekiwano na podstawie standardowej częstości tej choroby w Japonii (tzw. efekt przesiewowy - "*screening effect*").

W oparciu o wiedzę medyczną wskazującą, że rak tarczycy rośnie powoli i świadomość że efekt przesiewowy tłumaczy czemu znaleziono więcej przypadków niż obserwowano w innych okręgach bez wzmożonych badań przesiewowych, uznano za nieprawdopodobne, by te przypadki raka tarczycy zostały spowodowane narażeniem na jod¹³¹ (¹³¹I) wskutek awarii w EJ Fukushima Daiichi w marcu 2011.

Rzeczywiste wyniki pomiarów stanu tarczycy w trzech prefekturach poza Fukushima

Ultradźwiękowe badania przesiewowe tarczycy przeprowadzono w 2013 roku wśród dzieci w trzech prefekturach Japonii (Aomori, Yamanashi i Nagasaki), stosując te same metody jak w akcji Fukushima Health Management Survey.

Studium to zostało zaaprobowane przez komitety etyki w trzech uniwersytetach (Hirosaki, Yamanashi i Nagasaki) i było przeprowadzone zgodnie z wytycznymi w Deklaracji Helsińskiej.

Łącznie cysty tarczycy wykryto u 56.88% a guzki tarczycy u 1.65% badanych dzieci. Większość cyst była mała, o maksymalnej średnicy 5 mm. Cysty i guzki o maksymalnej średnicy większej niż 5 mm wykryto odpowiednio u 4.58% i 1.01% wszystkich dzieci.

Stan tarczycy lepszy u dzieci w rejonie Fukushima niż w innych prefekturach

Ultradźwiękowe badania tarczycy przeprowadzone w ramach Fukushima Health Management Survey objęły wszystkie dzieci które 11.03.2011 miały od 0 do 18 lat. Wśród badanych wykryto cysty tarczycy u 42.56% a guzki tarczycy u 1.15% dzieci.

Badania tarczycy	3 prefektury	Fukushima
Częstość występowania cyst	56.83%	42.56%
Częstość występowania guzków	1.65%	1.15%.

- Wbrew pesymistycznym prognozom (opartym na hipotezie o liniowym ujemnym wpływie nawet najmniejszych dawek promieniowania na zdrowie), dzieci z prefektury Fukushima mają stan tarczycy lepszy, niż dzieci z trzech innych prefektur Japonii, które nie były narażone na promieniowanie po awarii w Fukushima.

Dawka maksymalna od napromieniowania wewnętrznego cezem w Minamisoma 1 mSv

- Miasto nadbrzeżne Minamisoma leży 23 km na północ od EJ Fukushima Daiichi. Wskutek tsunami zginęło tam 1500 osób, a podczas kryzysu jądrowego znaczna część mieszkańców dobrowolnie opuściła miasto.
- W sierpniu 2011 zbadano poziom skażeń cezem 9500 osób.
- Okazało się, że dawka obciążająca w ciągu całego życia wskutek promieniowania wewnętrznego od Cs-134 i Cs-137 jest u wszystkich osób poza jedną mniejsza od 1 mSv. Tylko u 1 osoby dawka oczekiwana przez całe życie wynosi ... 1.07 mSv.
- W sierpniu 2012 r. moc promieniowania w Minamisoma wynosi 2.9 mSv/rok a wg, kryteriów rządowych dawki roczne awarii w rejonie Fukushima nie powinny przekraczać 20 mSv/rok.

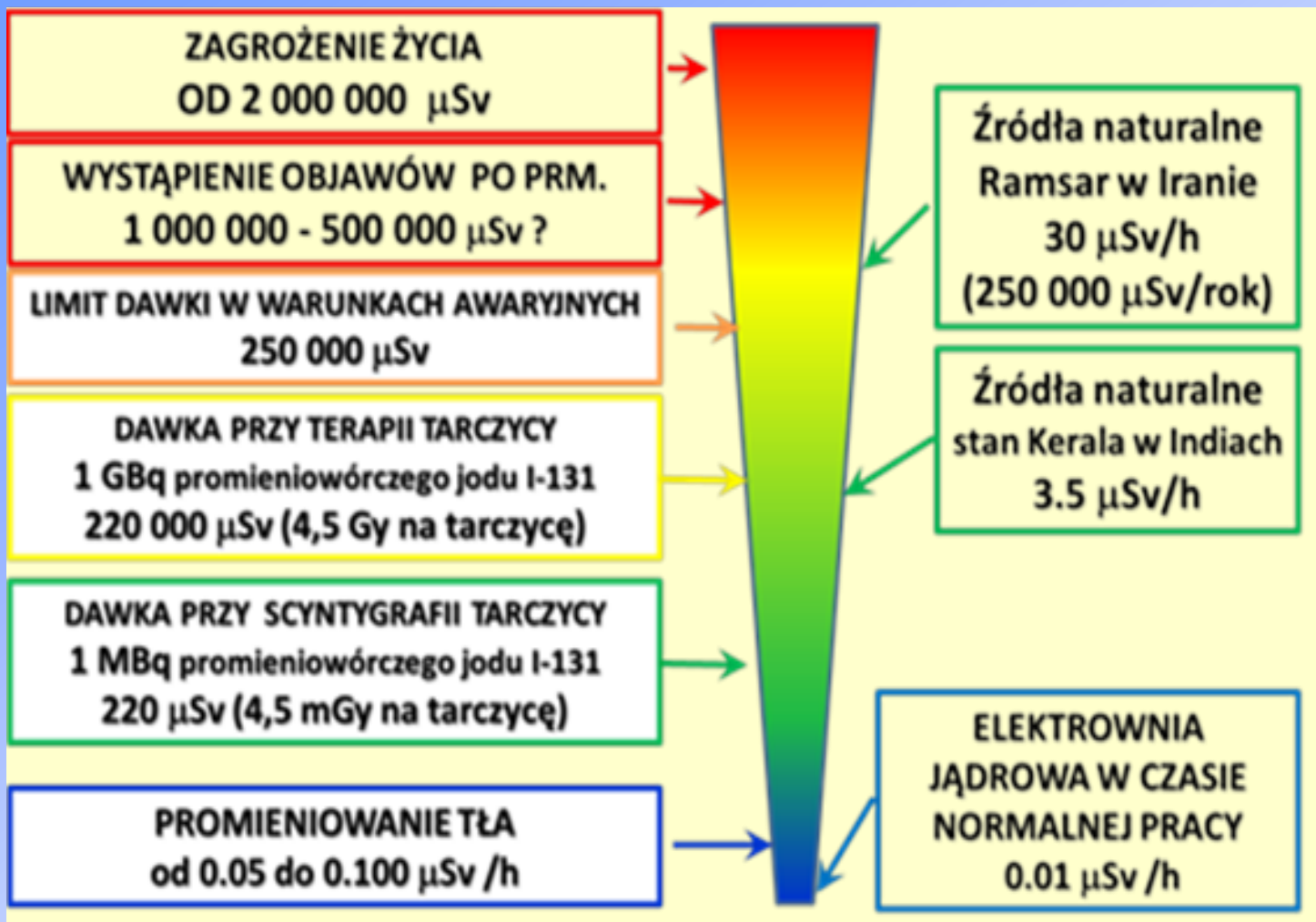
Strach przed promieniowaniem główną przyczyną cierpień ludności

- W kwietniu 2014 r. wycofano nakaz ewakuacji miasta Tamura i część mieszkańców powróciła do swych domów. Otworzono szkoły i przedszkola, ale część uczniów dojeżdża do szkół ze swych mieszkań poza miastem. Powodem są poziomy promieniowania, które nadal sięga 0,4-0,49 mikroSv/h co odpowiada rocznej dawce 3,5 – 4,3 mSv/rok.
- Część wsi Kawauchi znajduje się w strefie 20 km, w której w lipcu 2014 zezwolono na powroty mieszkańców. Ale sołtys zezwolił mieszkańcom wrócić lub pozostać na wysiedleniu. Tylko połowa ewakuowanych wróciła, reszta pozostała z powodu strachu przed promieniowaniem.
- Tymczasem dawka roczna 4 mSv to mniej niż różnica między Finlandią a Polską!

IAEA: jak podawać dane o promieniowaniu wskutek awarii

- Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej IAEA przeprowadziła misję do EJ Fukushima w 2013 r. i wydała raport końcowy w 2014 roku. I
- Raport stwierdza że interpretowanie danych o promieniowaniu i przedstawianie ich społeczeństwu w sposób zrozumiały i poprawny jest bardzo ważne, ale trudne.
- Podanie stężenia aktywności radionuklidów w środowisku lub wielkości dawek bez objaśnień nie wystarcza do zdobycia zaufania ludzi.
- Można porównywać te dane z dawkami od naturalnego tła promieniowania. Pozwala to wykazać, czy dawki są groźne.

Porównanie mocy dawki z różnych źródeł i wartości granicznych



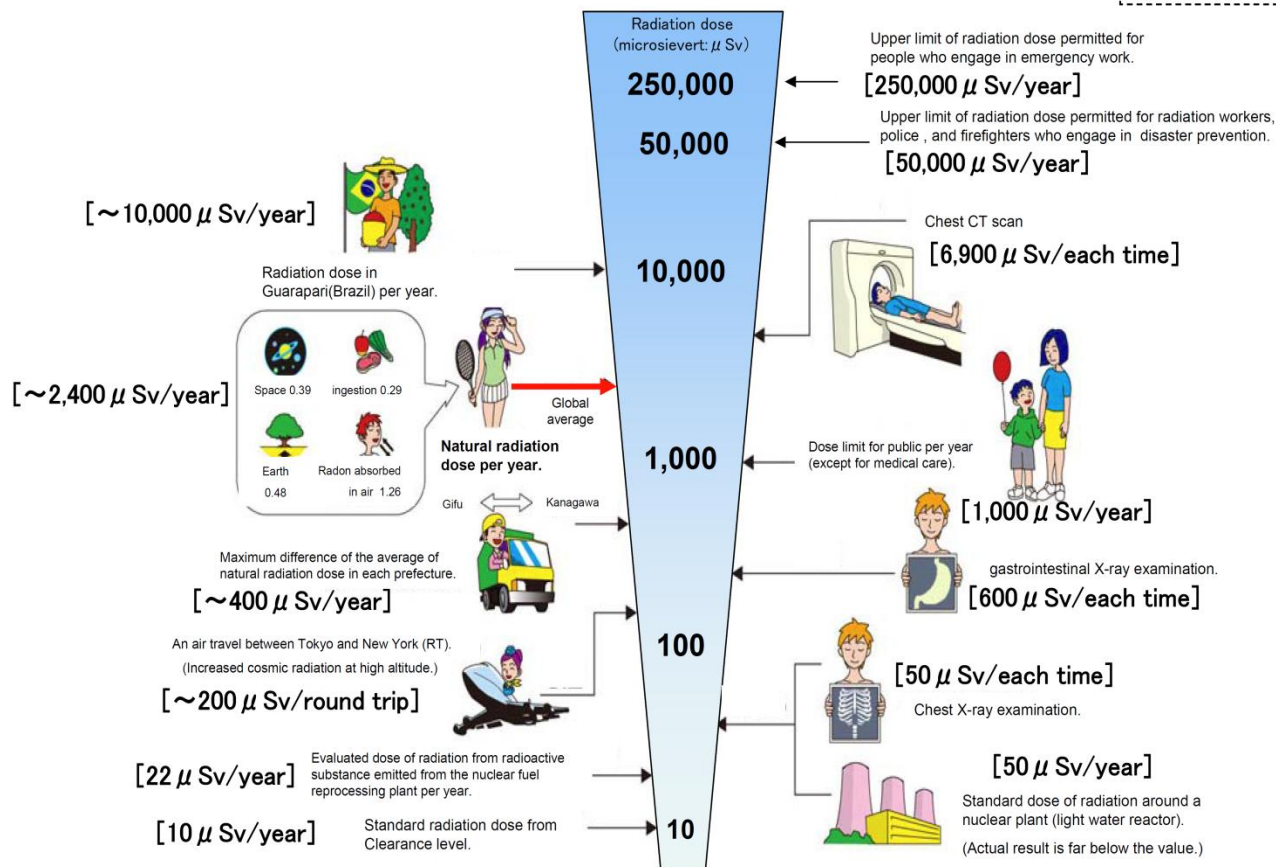
Strach przed małymi dawkami jest równie nieuzasadniony jak obawa, że temperatura 20°C może nam zaszkodzić, ponieważ przy 200°C powstają oparzenia trzeciego stopnia

(prof. Z Jaworowski)

Promieniowanie w codziennym życiu

Radiation in Daily-life

※Unit : μSv



Różnice promieniowania zewnętrznego Wrocław – Zakopane do 500 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$

Różnica Finlandia – Polska – 7000 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$.

Czy mieszkańcy miasta Tamura mają się obawiać dawek 4 mSv/rok?

IAEA zwraca uwagę by oceniać poziom dawek w odniesieniu do promieniowania naturalnego.

(Ref) Average dose rate at the monitoring post of Tokyo (3/17 9:00~3/18 9:00, March) : $0.050 \mu\text{Sv}/\text{h} = 438 \mu\text{Sv}/\text{y}$

Nawet wg najbardziej pesymistycznych ocen skutki radiacyjne niezauważalnie małe.

Wg ocen WHO, przy pesymistycznym założeniu, że prawdziwa jest hipoteza LNT, częstość zachorowań w ciągu 89 lat życia w miejscowości najbardziej narażonej na promieniowanie po awarii tj. Namie, może wzrosnąć dla:

- wszystkich nowotworów z obecnej średniej 29.04% do 30.20%.
- raka piersi u kobiet z 5.53% do 5.86%.
- białaczki wśród osób narażonych jako dzieci z 0.6% do 0.64%.
- raka tarczycy z 0.75% do 1.27%

Wszystkie te oceny są przesadzone, bo w rzeczywistości hipoteza LNT nie sprawdza się w żadnych studiach populacji istot żywych. WHO przyznało, że hipoteza LNT jest dyskusyjna, ale zastosowało ją, by dać ocenę najbardziej pesymistyczną jak możliwe.

WHO podkreśliło, że „**awaria nie spowoduje wzrostu poronień ani wad wrodzonych wśród dzieci urodzonych po awarii**”.

Raport Komitetu ONZ ds. skutków promieniowania (UNSCEAR)

- Raport UNSCEAR stwierdza wyraźnie:
- *Jest nieprawdopodobne, by można było znaleźć w przyszłości szkody zdrowotne wśród społeczeństwa i ogromnej większości pracowników powodowane narażeniem radiacyjnym wskutek wycieków i eksplozji z uszkodzonych reaktorów w Fukushima.*
- Pracownicy, którzy dostali dawki powyżej 100 mSv będą poddani corocznym badaniom tarczycy, żołądka, jelita grubego i płuc dla wykrycia nowotworów, ale nie oczekuje się by doszło do jakichkolwiek zachorowań z powodu napromieniowania.
- Uwolnione aktywności substancji radioaktywnych były znaczące, ale zbyt małe, by po rozprzestrzenieniu na dużym obszarze miały jakiekolwiek skutki zdrowotne dla Japończyków, teraz lub w przyszłości.

ONZ przyjęła stanowisko UNSCEAR w sprawie małych dawek

W końcu 2013 r. Zgromadzenie Ogólne ONZ przyjęło zalecenie UNSCEAR że *„nie należy mnożyć małych dawek przez dużą liczbę osób by ocenić skutki zdrowotne dodatkowego promieniowania otrzymanego w dawkach bliskich tła naturalnego”*.

UNSCEAR zalecił, by dla dawek poniżej 100 mSv przypisywać skutki zdrowotne narażeniu radiacyjnemu tylko wtedy, gdy

- 1) naturalne występowanie danego symptomu jest rzadkie, a czułość tkanki na promieniowanie jest bardzo wysoka, a
- 2) jednocześnie liczba przypadków jest tak wysoka, że przekracza ona naturalne granice niepewności statystycznej.

Obserwowane narażenie radiacyjne w Namie i innych miastach było i jest zbyt małe by spełniło te warunki. Dlatego WHO przyznało, że jego ocena jest świadomie zawyżona

Ryzyko zachorowań na raka wskutek awarii mniejsze niż wskutek spalania węgla

Minimalne zagrożenie wykazane w międzynarodowych raportach nie usprawiedliwia utrzymywania osób ewakuowanych z dala od ich domów. Poza małymi rejonami obok reaktorów, ryzyko związane z przebywaniem Japończyków w rejonach obecnie ewakuowanych jest mniejsze niż ryzyko raka i zgonu z powodu wzrostu zużycia węgla w Japonii po wyłączeniu EJ.

Porzucenie palenia papierosów, dałoby znacznie większy efekt niż promieniowanie po Fukushima.

Nie jest to pocieszeniem dla rodzin ludzi starych, którzy umarli niepotrzebnie wskutek przymusowej ewakuacji szpitali i domów starców. Wobec tego, że skutki promieniowania maleją gwałtownie z wiekiem, zdrowiu tych ludzi promieniowanie nie groziło i zmarli niepotrzebnie.

Wniosek z dokumentów UNSCEAR i WHO o sytuacji wokół Czarnobyla i Fukushima

- Dokument UNSCEAR zawiera wnioski dotyczące efektów zdrowotnych wokół Fukushima. Mają one bardzo istotne znaczenie dla dalszych decyzji władz Japonii i operatorów elektrowni jądrowych w sprawach procedur bezpieczeństwa w sytuacjach kryzysowych, ewakuacji i powrotów ludzi do swych domów na terenach uznanych za skażone.
- *„Uważam, że wyraźne stwierdzenia UNSCEAR, iż nie należy oczekiwać w Japonii wzrostu śmiertelności nowotworowej, a także fakt, iż po awarii w Czarnobylu (1986 r.) nie obserwuje się wzrostu białaczek i nowotworów łitych, a jedynie niemal w całości wyleczalne raki tarczycy, powinny znaleźć przełożenie na zmiany w podejściu do ochrony radiologicznej” [prof. dr hab. L. Dobrzyński, 2013]*

Zbyt niskie limity dawek ustalone w przepisach na podstawie LNT

Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) powinna ponownie rozważyć ustaloną przez nią w 1934 r. dawkę tolerancyjną 0.7 Sv/rok stosowaną w sytuacjach awaryjnych. Studia dużych populacji potwierdziły, że dawka taka jest nieszkodliwa. ICRP powinna ustalić dla sytuacji awaryjnych nowy limit, np. 0.1 Sv/rok. Bez takiej zmiany nie tylko ludność Japonii, ale i reszta świata będzie nadal zagubiona i przestraszona przez cały czas, nawet przy użyciu promieniowania przy badaniach medycznych.

Dawki otrzymane przez większość Japończyków wskutek tej awarii są mniejsze niż naturalne tło promieniowania na ziemi (2.1 mSv/rok, ale z rozrzutem od 0.3 do 100 mSv/rok bez skutków zdrowotnych). Nie wystąpiły zgony ani ostra choroba radiacyjna wśród 25 000 robotników pracujących na terenie elektrowni po awarii, nawet wśród tych, którzy otrzymali dawki >100 mSv.

Złe skutki hipotezy o bezprogowej, liniowej szkodliwości promieniowania (LNT)

Niewątpliwie określony teren wokół reaktorów jest skażony i musi być zdekontaminowany, ale jest to teren mały, ograniczony do miejsc, gdzie moc dawki przekracza >50 mSv/rok (>6 mikroSv/h). Reszta obszaru jest dostatecznie bezpieczna, by mieszkańcy mogli tam mieszkać, i była taka przez ponad dwa lata.

Badania międzynarodowe wskazują, że:

- 1) skutki radiacyjne dla zdrowia będą tak małe, że nie da się ich zauważyć
- 2) przymusowa ewakuacja i ciągły strach mają zdecydowanie zły wpływ na zdrowie, a można byłoby tego uniknąć przyjmując bardziej uzasadnione wymagania przy ewakuacji

Największą przyczyną strachu i błędnych decyzji jest przyjmowanie hipotezy LNT jako podstawy działania. .

-

Wnioski misji IAEA w 2013 roku

Misja IAEA (2013 r) sformułowała szereg zaleceń, które realizuje obecnie Japonia. Limit narażenia społeczeństwa na promieniowanie powodowane przez aktualne działania na terenie elektrowni wynosi 1 mSv/rok. Jest on niezależny od dawek, jakie spowodowała awaria. Aktualne moce dawek są znacznie niższe od 1 mSv/rok, dawka od chmury to 1.8×10^{-6} mSv/rok, od skażeń na ziemi 2.8×10^{-2} mSv/rok i dawka otrzymywana drogą oddechową i pokarmową to 1.8×10^{-4} mSv/rok.

Sporadyczne wycieki ścieków radioaktywnych nie dają znaczącego wkładu w dawkę. Ale odkąd w kwietniu 2013 r. przepompowano skażoną wodę ze zbiorników podziemnych do zbiorników naziemnych, wzrosło promieniowanie bezpośrednie i wynosi ono teraz od 0,47 do 7,8 mSv/rok w zależności od miejsca na terenie elektrowni.

Zalecenia misji IAEA odnośnie ustalenia dawek granicznych

Limit 1 mSv/rok narzuca ograniczenia na praktyczne przeprowadzania planowanej dekontaminacji, szczególnie w odniesieniu do przechowywania radioaktywnych cieczy i ciał stałych na terenie elektrowni. Dodatkowa trudność występuje w odniesieniu do radioaktywnych cieczy, ponieważ ich wypływ jest obecnie niedozwolony, niezależnie od spełnienia ograniczeń odnośnie dróg narażenia.

Powoduje to wzrost zagrożenia radiacyjnego wskutek wzrostu ilości skażonej cieczy, stwarza trudności w ograniczaniu dawek dla pracowników i zwiększa ryzyko przypadkowych wycieków.

Misja IAEA zaleciła przeprowadzić konstruktywne dyskusje z odpowiednimi władzami miejscowymi i dozorem jądrowym by ocenić i zrównoważyć ryzyko i korzyści wynikające z utrzymywania ograniczeń dawki na granicach stref.

Przepływ wód podziemnych przez piwnice EJ powoduje wypływ skażeń

- EJ Fukushima Daiichi znajduje się na terenie, gdzie podziemny strumień wody płynie z gór do morza pod terenem elektrowni. Wydatek przepływu wynosi 800 ton dziennie, z czego 400 ton napływa do piwnic budynków elektrowni i ulega skażeniu, a reszta płynie bezpośrednio do morza.
- W ten sposób codziennie przybywa 400 ton wody skażonej wskutek chłodzenia reaktorów, a jeden zbiornik może zmieścić tylko 1000 ton, co oznacza, że co 2,5 dnia zostaje napełniony nowy zbiornik.
- Do 15 lipca 2014 r. na terenie elektrowni zgromadzono 500 000 ton skażonej wody. Ponadto około 90 000 ton skażonej wody znajduje się w piwnicach elektrowni. TEPCO planuje zwiększyć pojemność zbiorników na skażoną wodę do 800 000 ton.

Aktywność wody spływającej do morza jest 10x mniejsza niż dozwolona dla wody pitnej

- Wody gruntowe płyną w sposób naturalny do morza, ale w EJ Fukushima Daiichi muszą one przepłynąć przez piwnice budynków. Ponad 400 ton wód gruntowych napływa codziennie do piwnic przez przepusty rurowe i kablowe a także przez drobne pęknięcia mieszają się one z silnie skażoną wodą użytą poprzednio do chłodzenia uszkodzonych rdzeni reaktorów.
- Tepco zaczęło wypompowywać wodę z ziemi w początku kwietnia 2014. Woda wypompowana w okresie próbnym była przetrzymywana w zbiornikach na terenie elektrowni, a jej poziom skażeń badano. Pomiary sprawdzane przez organizacje niezależne wykazywały, że woda zawiera aktywność cezu Cs-134 i Cs-137 poniżej 1 bekerela na litr. Jest to 0,1 wartości uważanej przez WHO za dopuszczalną w wodzie pitnej.

Wycieki wody skażonej ze zbiorników w EJ – nie spowodowały szkód zdrowotnych

- Dnia 20 sierpnia 2013 TEPCO poinformowało, że z jednego ze zbiorników wyciekło około 300 ton skażonej wody. Część tej wody została zatrzymana przez niewielką tamę zbudowaną wokół zbiorników, reszta przeniknęła do gleby. Moc dawki w sąsiedztwie przecieku przekraczała 100 mSv/h. Aktywność wody sięgała 100 kBq/l dla Cs-137 i 80 MBq/l radionuklidów emitujących promieniowanie beta.
- NRA zakwalifikowała to wydarzenie jako incydent na poziomie 3 skali INES (International Nuclear Event Scale).
- W lutym 2014 TEPCO poinformowało o następnym znacznym wycieku wody skażonej z jednego ze zbiorników. Wyłynęło 100 ton wody zawierającej 230 MBq/l emiterów beta i 9,3 kBq/l cezu Cs-137. Powodem było przepełnienie zbiornika. Wyciek nie spowodował zagrożenia dla zdrowia ludzi.

Nowy układ usuwania radionuklidów ze skażonej wody

- W maju 2014 r. zrzut wody do morza uzgodniono z rządem, prefekturą Fukushima i związkiem rybaków. Aktywność wody spływającej do morza jest 10x mniejsza niż dozwolona dla wody pitnej.
- W październiku 2014 TEPCO uruchomiło nowy układ usuwania radionuklidów, *będący ulepszoną wersją układu pracującego już 2 lata w Fukushima. Jego wydajność wynosi 500 ton wody dziennie.* Zapewni on zdecydowaną redukcję ilości skażonej wody przechowywanej w zbiornikach elektrowni. W szczególności obniży on zawartość strontu do niewykrywalnego poziomu, co zmniejszy zagrożenie przecieków i podniesie bezpieczeństwo robotników.
- Radioaktywny cez usuwano skutecznie już wcześniej przy pomocy układu SARRY.

Ocena skażeń wody morskiej wg misji IAEA i wg UNSCEAR

- Misja stwierdziła, że wprowadzono szereg działań interwencyjnych by zabezpieczyć środowisko morskie, np. odizolowanie i usuwanie źródeł skażeń.
- Dzięki temu stężenie aktywności w morzu spadło i wynosi obecnie koło EJ około 1 Bq/L dla Cs-137. Poziom aktywności w morzu od 2 do 20 km wynosi około 0.1 Bq/L, a dalej od 0.001 do 0.003 Bq/L dla Cs-137.
- Podobnie spadła aktywność roślin i ryb morskich.
- Wg UNSCEAR, w ekosystemie morskim wpływ promieniowania na florę i faunę był ograniczony do obszaru w pobliżu EJ. Potencjalne skutki w dłuższym horyzoncie czasowym będą wg UNSCEAR nieznaczące

Strach przed promieniowaniem powoduje gorsze skutki niż samo promieniowanie

- Wyraźne przypadki szkód zdrowotnych wskutek napromieniowania występują ogólnie tylko po dawkach przekraczających 1000 mSv, a więc dużo wyższych niż dawki 10-50 mSv jakie zgodnie z oceną WHO otrzymali mieszkańcy Namie i litate. W szerszym rejonie wokół Fukushima według oceny WHO dawki były w granicach od 1 do 10 mSv.
- WHO podkreśliła, że efekt psychologiczny awarii i ewakuacji „może mieć skutki zdrowotne i społeczne”. Inne skutki zauważone już przez władze japońskie to wczesne zgony ludzi starych przewożonych ze szpitali i domów opieki podczas ewakuacji.
- Liczbę tych przedwczesnych zgonów ocenia się na 1000-1600. Porównanie tej liczby z brakiem skutków radiacyjnych wskazuje że długotrwała ewakuacja nie była potrzebna.

Strach przed promieniowaniem główną przeszkodą w normalizacji życia

- Choć promieniowanie nie spowodowało strat zdrowotnych, masowa ewakuacja miała poważne skutki społeczne i spowodowała zgony ludzi starych. Wg UNSCEAR, „*największe skutki spowodował połączony szok psychiczny wywołany przez trzęsienie ziemi, tsunami i awarię jądrową, a potem strach przed rzekomymi skutkami narażenia na promieniowanie.*”
- Agneta Rising, kierownik World Nuclear Association, oświadczyła, że raport UNSCEAR „*powinien uspokoić tych, którzy zamierzają wrócić na tereny pierwotnie ewakuowane*”. Dodała ona: „*Doświadczenie uczy nas, że pewne działania zapobiegające napromieniowaniu ludzi mogą przynieść skutki gorsze niż samo promieniowanie. Potrzebujemy ustalić sposób postępowania dla ochrony ludzi przy zachowaniu możliwości normalnego życia po awarii.*”

Dość straszenia, pozwólmymy ludziom żyć bez strachu przed promieniowaniem.

Tragedią dla ludności Japonii są skutki zdrowotne zwiększonego spalania węgla, skutki psychologiczne strachu przed promieniowaniem i skutki samego tsunami. Żadne źródło energii nie jest doskonałe, ale gdyby reakcja administracji na awarię w Fukushima była rozsądna i współmierna z ryzykiem, to Japończycy nie cierieliby tak bardzo jak teraz.

Awaria w Fukushima była klęską, ale ekonomiczną a nie zdrowotną, a przyczyną było potworne tsunami, które zabiło 20,000 ludzi i zniszczyło dorobek prawie miliona ludzi. Tereny wokół EJ Fukushima będą oczyszczone przy użyciu technik, które opracowaliśmy specjalnie do tego celu.

Ale trzeba przestać straszyć ludzi promieniowaniem, bo uniemożliwia im to powrót do normalnego życia i powoduje rozpacz, która trwa.