

PO TRZĘSIENIU ZIEMI I TSUNAMI

Krzysztof Rzymkowski

Przy omawianiu skutków trzęsienia ziemi 11 marca 2011 r. najczęściej pojawiają się komentarze dotyczące przede wszystkim katastrofy jądrowej w elektrowni, rzadko natomiast wspomina się o innych zniszczeniach. Usuwanie tych ostatnich będzie trwało krócej niż przewidywany okres likwidacji skażeń, ale będzie miało istotny wpływ na gospodarkę Japonii.

Trzęsienie ziemi z 11 marca było tak silne, że zmieniło oś obrotu Ziemi (o 10 cm – dzień uległ skróceniu o 1,6 μ s), a wyspa Honsiu została przesunięta o około 2,4 m. Było ono poprzedzone wstrząsami o sile 7,2 w skali Richtera, które wystąpiły 9 marca 2011 r.

Japonia, będąc krajem położonym na terenie o bardzo wysokiej aktywności sejsmicznej, ma długą tradycję ochrony przed skutkami trzęsień ziemi. W erze Meiji, czyli w początkach XIX wieku, wprowadzono siedmio-stopniową skalę siły trzęsień ziemi - Shindo, obecnie po modyfikacjach zbliżoną do skali Mercallego. Praktycznie wszystkie projekty techniczne, zwłaszcza wielkie przedsięwzięcia energetyczne, planowane są ze szczególnym uwzględnieniem warunków sejsmicznych. Do celów projektowych używana jest jednostka Gal (Galileo), określająca tzw. szczytowe przyspieszenie na powierzchni ziemi (*Peak Ground Acceleration* -PGA), zdefiniowana jako odsetek przyspieszenia ziemskiego, tzn. $1g = 980 \text{ Gal}$ lub $1 \text{ Gal} = 0,01g$. Wytrzymałość bloku 1 elektrowni Fukushima była zaprojektowana na 180 Gali (0,18g). Pozostałe bloki miały wytrzymać 450Gali (0,45g). Stacje sejsmiczne w pobliżu Fukushimy zarejestrowały od 300 do 600 Gali (0,30g do 0,60g). Należy ponadto pamiętać, że po głównym trzęsieniu ziemi nastąpiło ok. 300 trzęsień wtórnych o różnej sile.

Fala tsunami o wysokości około 14 m (czyli mniej więcej wysokości 5 piętrowej kamienicy) spowodowała przede wszystkim zniszczenia w północno-wschodnich prefekturach Japonii, głównie Iwata, Miyagi i Fukushima. Najbardziej narażonymi na falę tsunami z 11 marca 2011 r. były następujące elektrownie jądrowe: Onagawa (bloki 1, 2, 3), Fukushima I (bloki 1, 2, 3, 4, 5, 6), Fukushima II (bloki 1, 2, 3, 4) oraz Tokai II (blok 1). Docierając do dalej położonych elektrowni Hamaoki i Ikaty, fala tsunami wytraciła już swoją energię i nie spowodowała zniszczeń. Wszystkie reaktory w chwili trzęsienia ziemi zostały automatycznie wyłączone.

Trzęsienie ziemi oraz fala tsunami spowodowała ogromne straty w rolnictwie, przemyśle i transporcie. Zniszczeniu uległy drogi, koleje, domy (całe osiedla) linie energetyczne, linie łączności. Powstały zwały gruzu, stopy połamanych drzew, złomowiska samochodów, zanieczyszczenia chemiczne, pożary. Dewastacji uległo środowisko naturalne. Zginęło ok. 15 000 ludzi, 4 000 uznano za zaginione, tysiące ludzi straciło swój dobytek, miejsca pracy, mieszkania.

Fala tsunami oprócz zniszczeń powstałych w czasie napływu, powodowała dalsze szkody w fazie cofania się, zabierając do morza gruz, sprzęt, przy okazji zanieczyszczając także łowiska.

Zniszczone zostały uprawy ryżu, warzyw, sady, które zostały zalane słoną wodą, następnie pokryte szlamem, błotem oraz chemikaliami wypływającymi ze zniszczonych zbiorników. Niektóre rodziny farmerskie uprawiały ziemię w tej okolicy już od 400 lat, a obecnie właściciele zostali pozbawieni możliwości kontynuacji upraw. W rejonach Tohoku i Kanto, łącznie ok. 23 000 ha zostało zalanych wodą ze szlamem. Największe straty powstały w prefekturze Miyagi, gdzie sytuacja dotyczy 15 000 ha, co stanowi 50% całkowitej powierzchni upraw w tym rejonie. Zniszczone zostały też zakłady przetwórcze powiązane z rolnictwem i hodowlą.

Jeszcze bardziej dramatyczne straty powstały w rybołówstwie. Połowy w tym regionie pokrywały około 10% zapotrzebowania krajowego. Zniszczeniu uległy hodowle ostryg, krewetek stanowiących 30% krajowej produkcji. Cały przemysł powiązany z rybołówstwem był właśnie przygotowany do rozpoczęcia nowego sezonu. W pobliżu elektrowni wstrzymano uprawy niektórych roślin, przede wszystkim ryżu, ze względu na wysoki stopień skażenia gleby i pochłanianiu przez tę uprawę dużej ilości radioaktywnego cezu. Produkcja ryżu w prefekturze Fukushima należała do największych (450 000 ton rocznie) w Japonii.

Z powyższych przyczyn premier Japonii Yoshihiko Noda na konferencji prasowej stwierdził, że „nie będzie odnowienia Japonii bez odbudowy Fukushimy”.

Prawie natychmiast po ustąpieniu fali tsunami przystąpiono do usuwania jej skutków rozpoczynając od ratowania i poszukiwania ludzi, organizowania doraźnej pomocy oraz oszacowania ogromu zniszczeń. Należy

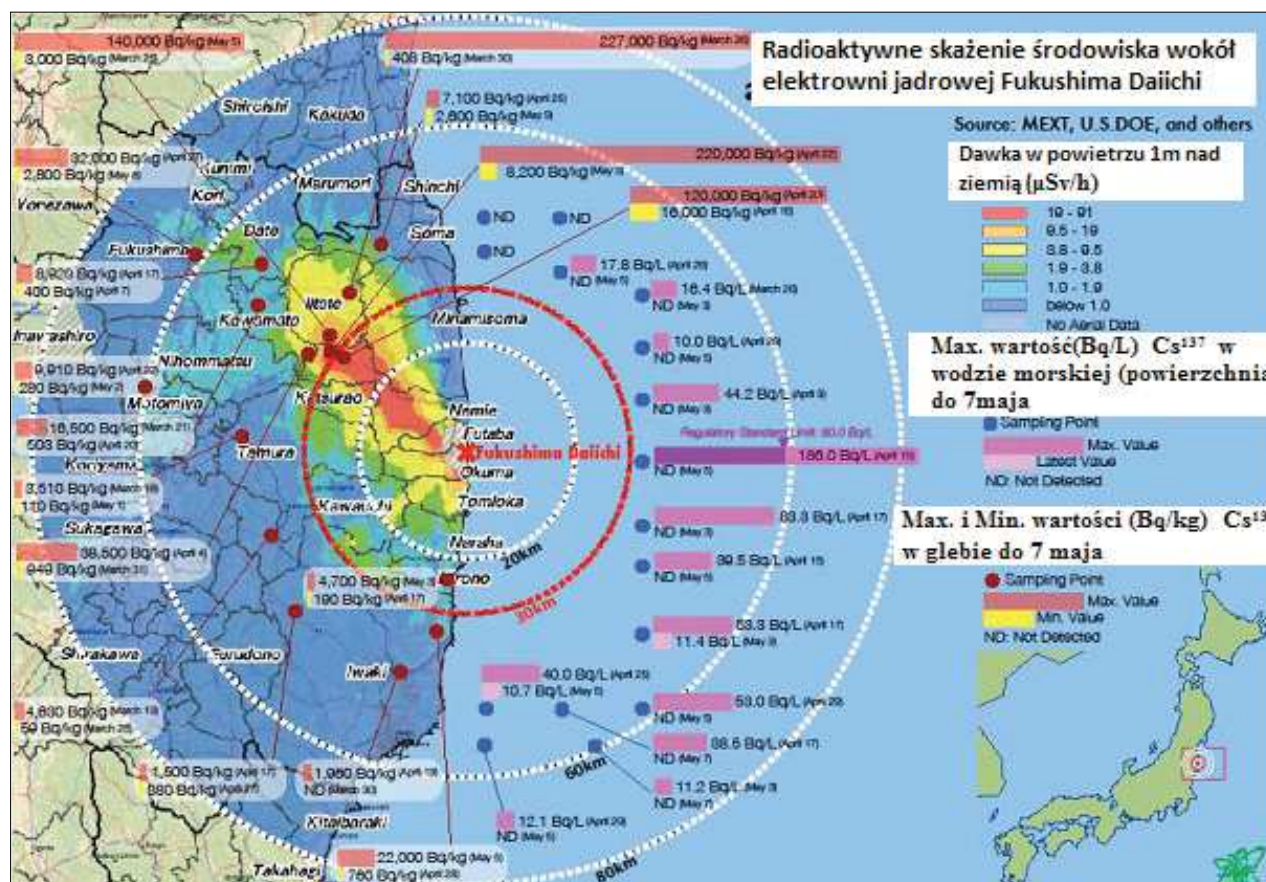
zwrócić uwagę na całkowitą niemożność komunikacji międzyludzkiej w chwili nawałnicy, za wyjątkiem ograniczonych możliwości sieci komórkowych. Oprócz rozległych działań sieci obrony cywilnej np.: monitoringu radiacyjnego (wspomagane później nawet przez organizacje pozarządowe i międzynarodowe) do akcji włączono wszystkie możliwe służby mające jakkolwiek związek nie tylko z ochroną radiologiczną, ale i z np.: pomocą medyczną (włączając w to pomoc psychologiczną odgrywającą w skrajnie trudnych warunkach istotną rolę w zapobieganiu panice i następnej depresji).

W miarę gromadzenia informacji z obserwacji stanu reaktorów zdecydowano o zmianie kwalifikacji oceny poziomu katastrofy z 4 do najwyższego poziomu 7, w międzynarodowej skali stosowanej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej – MAEA. Stopień 4 to awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem, stopień 7 – wielka awaria – uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych, krótko i długo żyjących izotopów rozprzestrzeniających się na znacznym obszarze. Spodziewano się, że parująca woda odłoni górne partie rdzenia, powodując jego nadtopienie. Ponadto konieczność zmniejszenia ciśnienia w zbiorniku reaktora spowodowała uwalnianie wodoru, wraz

z którym nastąpiła emisja pierwiastków promieniotwórczych – jodu i cezu (J^{131} , Cs^{134} , Cs^{137}), powodując skażenie środowiska. W raporcie TEPCO (czerwiec 2011) stwierdzono, że w pierwszych czterech dobach po trzęsieniu ziemi przedostały się do atmosfery (oprócz jodu i cezu) śladowe ilości izotopów strontu Sr^{90} , plutonu (P^{238} , P^{239} , P^{240} i P^{241} – ok. 50g) neptunu Np^{239} – 1mg, teluru Te^{129} .

Z punktu widzenia ochrony radiologicznej ludności najistotniejszym izotopem jest jod i cez szybko wchłaniane przez organizm. Zgodnie z początkowymi szacunkami rządu Japonii podczas całej awarii wydostał się cez-137 o aktywności 15 PBq. Wielkość ta, jest kwestionowana przez niektóre ośrodki zagraniczne szacujące całkowitą aktywność na 36 PBq. (P skrót przedrostka peta odpowiadającemu współczynnikowi 10^{15} jednostki podstawowej).

Dodatkowo w początkowej fazie usuwania skutków awarii konieczne było, ze względu na brak dostatecznej ilości zbiorników, uwolnienie tysięcy litrów skażonej wody do oceanu. Mimo wszystko ocenia się, że całkowita emisja tych pierwiastków mogła osiągnąć 10% podobnej emisji w trakcie awarii w Czarnobylu w 1986 r. Największe skażenia gleby, lasów oraz rzek zaobserwowano w kilkukilometrowym paśmie leżącym w kierunku północno-zachodnim w obrębie 30 kilometrowej strefy,



Rys. 1. Zakres skażeń promieniotwórczych i rejon ewakuacji. (JAIF)

rozsiewającej się wokół elektrowni Fukushima Dai-ichi.

Niepewność dalszego rozwoju sytuacji (odnosząca się przede wszystkim do skażenia powietrza) spowodowała decyzję o czasowej ewakuacji ludności z zagrożonych terenów. Ustalono rejon tzw. pełnej ewakuacji ludności wyznaczając obszar o promieniu 20 km od centrum źródła skażeń tzn. od elektrowni Fukushima Dai-ichi, oraz rejon tzw. ograniczonej ewakuacji w promieniu 30 km. W tym rejonie obowiązywała czasowa ewakuacja, która obowiązuje nadal na obszarach o podwyższonym poziomie promieniowania. Przewidywany jest powrót mieszkańców po przeprowadzeniu dekontaminacji. Na rys. 1 przedstawiono zakres skażeń promieniotwórczych i rejony ewakuacji.

W kwietniu 2011 r. przyjęto wstępny plan usuwania skutków trzęsienia ziemi ze szczególnym uwzględnieniem usuwania skutków awarii elektrowni, tzw. „mapa drogowa odbudowy”.

Usuwanie zniszczeń wywołanych falą tsunami wymagało przede wszystkim: odbudowy sieci energetycznych, sieci komunikacyjnych, rozpoczęcia usuwania gruzów, utylizację odpadów zagrażających ludziom i środowisku. W następnej kolejności planowano przystąpienie do odbudowy gospodarki, poprzez pomoc finansową przy zakupie nowego sprzętu, odbudowie portów itp. Szybko powstały spółki odtwarzające przemysł rybołówstwa, wprowadzające jednocześnie jego reorganizację np. ograniczenie liczby portów rybackich oraz nowoczesne sposoby wykorzystania drogiego sprzętu. Rozpoczęto przygotowania do usuwania zasolenia gleby. Metody te były już wcześniej stosowane w Japonii, ponieważ podobne problemy często spowodowane były przez silne tajfuny przechodzące nad Japonią.

Powołano specjalne grupy ekspertów, których zadaniem było opracowanie i przedstawienie rządowi analizy przyczyn i skutków awarii. Przeprowadzenie dokładnej analizy skutków awarii będzie możliwe dopiero po ustaleniu pełnego ich zakresu, co będzie procesem długotrwałym, tak więc końcowa analiza spodziewana była w połowie 2011 r.

Pierwszą wstępną analizę, opublikowano 9 maja 2011 r. pt. „Wnioski wypływające z analizy awarii w elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi” (*Lessons learned from the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant*). Została ona przeprowadzona przez zespół ekspertów z: *Open Standards for the Information Society* (OASIS) – Otwarte Standarty Informacji Społecznej Podkomitet Analiz Technicznych, *Committee for Investigation of Nuclear Safety* (CINS) – Komitet Badań Bezpieczeństwa Jądrowego, *Atomic Energy Society of Japan* (AESJ) – Japońskie Towarzystwo Energii Atomowej.

W raporcie uwzględniono znane przyczyny awarii.

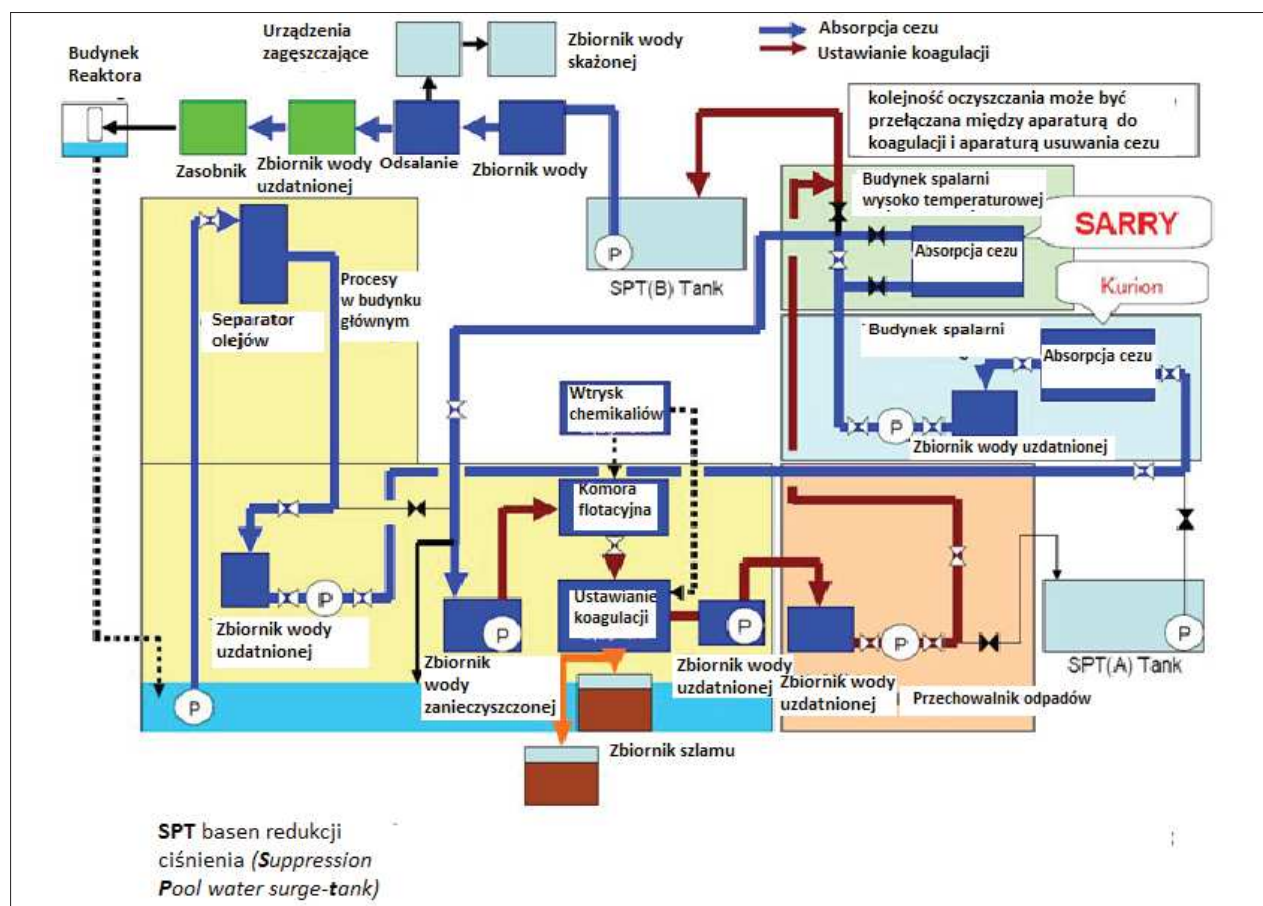
Kolejne wyniki badań skutków awarii, przygotowane przez zespoły międzynarodowe, przedstawiono w czasie pięciodniowej (20-25 czerwiec 2011 r.) konferencji organizowanej w Wiedniu przez MAEA oraz podobnej konferencji organizowanej przez OECD. W czasie tych spotkań zaprezentowano również raport rządu japońskiego (*Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety- The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations*).

Działania rządu oceniono jako niedostateczne, szczególnie zwrócono uwagę na brak łączności pomiędzy rządem a centrum kryzysowym zawiadującym tzw. systemem SPEEDI (*System for Predicting Environmental Emergency Dose Information*), którego zadaniem jest między innymi prognozowanie rozprzestrzeniania się substancji radioaktywnych. Dane z systemu SPEEDI nie były wykorzystywane w rozporządzeniach o ewakuacji, które były niedokładne i nie docierały do władz lokalnych. Podobnie nieprzejrzysty był system informowania społeczeństwa.

Japońska Komisja Energii Atomowej (*Japan Atomic Energy Commission - JAEC*) 13 grudnia 2011 r. opublikowała zalecenia dalszego postępowania przy usuwaniu skutków katastrofy, zalecając między innymi, by rząd:

- przejął pełną odpowiedzialność za usuwanie skutków katastrofy do czasu całkowitej dekontaminacji terenu zaczynając od wprowadzenia odpowiedniego systemu i infrastruktury, jak również systemu bezpieczeństwa nadzorowanego przez TEPCO i prowadzenie społecznej, pełnej, przejrzystej akcji informacyjnej o podjętych działaniach,
- zobowiązał TEPCO do przygotowania i wprowadzenia planów ochrony radiologicznej i innych pokrewnych działań po pełnej konsultacji i akceptacji organów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo,
- przejął pełną koordynację nad zabezpieczeniem działań przed nierozprzestrzenianiem materiałów jądrowych we współpracy z organizacjami międzynarodowymi, głównie MAEA,
- ustanowił niezależną „trzecią” organizację kontrolującą te działania,
- podjął średnio- i długoterminowe działania, umożliwiające rozwój przemysłowy regionu w przyszłości, jak również wykorzystanie jego zasobów.

Osobnym problemem było przygotowanie „mapy drogowej” w celu usuwania radiologicznych skutków awarii bezpośrednio u jej źródła tzn. w elektrowni Fukushima Dai-ichi. Pierwszym i podstawowym celem usuwania skutków było osiągnięcie stabilnych warunków chłodzenia reaktorów i paliwa zmagazynowanego w basenach oraz ograniczenie emisji pierwiastków pro-



Rys. 2. System oczyszczania skażonej radioaktywnie wody opracowany przez Toshiba

mieniotwórczych tak, by ewakuowana bezpośrednio po awarii ludność mogła powrócić do miejsc swojego zamieszkania. Pierwszym i zasadniczym celem usuwania skutków awarii było osiągnięcie tzw. stanu zimnego wyłączenia reaktora, tzn. stanu, w którym temperatura rdzenia spadnie poniżej 100°C. Stan ten osiągnięto we wrześniu 2011 r., a pełną stabilizację temperatury reaktorów i basenów wypalonego paliwa w styczniu 2012 r.

Uszkodzenie systemu awaryjnego chłodzenia oraz możliwość wystąpienia stanu krytycznego wymusiły konieczność użycia do bezpośredniego chłodzenia reaktorów wody morskiej z dodatkiem kwasu borowego, umożliwiającego absorpcję neutronów. Użycie wody morskiej do chłodzenia, konieczne w początkowej fazie, spowodowało osadzenie się 26 ton soli w reaktorze 1. Sól, osadzając się na ściankach rur systemu chłodzenia, zmniejszała wydajność przepływu, a tym samym zmniejszała skuteczność dalszego chłodzenia. Dlatego też konieczne było jak najszybsze wprowadzenie do obiegu wody słodkiej, której zapasy w elektrowni były ograniczone. Chłodzenie wodą słodką nastąpiło dopiero po ok. 12 dniach od początku awarii, z uwagi na konieczność dostarczania jej barkami marynarki wojennej Stanów Zjednoczonych. 19 kwietnia 2011 r.

podjęto decyzję budowy systemu oczyszczania i magazynowania skażonej wody. Budowy takiego systemu o wielkiej wydajności, wykorzystującego najczęściej stosowane metody oczyszczania, podjęło się kilka firm.

W lipcu firma Toshiba zaoferowała nowy system oczyszczania pod nazwą SARRY (*Simplified Active Water Retrieve and Recovery System*) proponując jego uruchomienie równoległe do już zainstalowanego systemu. Osiągnięty współczynnik dekontaminacji dla cezu wynosi $DF=50\ 000$. Planowane jest uruchomienie jeszcze dwóch takich urządzeń (rys. 2).

W czasie posiedzenia Komitetu Szybkiego Reagowania w wypadku Awarii Jądrowych, (16 grudnia 2011 r.) pod przewodnictwem premiera Yohihiko Nody oświadczono, że sytuacja w elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi została opanowana, ponieważ osiągnięto stan zimnego wyłączenia. Stan taki pozwala zdjąć pokrywę reaktora, tzn. otworzyć reaktor w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego.

Osiągnięcie stanu zimnego wyłączenia zakończyło pierwszy i bardzo trudny etap przedstawionej przez TEPCO (*Tokyo Electric Power Company*) w kwietniu „mapy drogowej” usuwania skutków awarii. Jednym z celów tego etapu było ograniczenie emisji substancji

promieniotwórczych do środowiska. Prace nad zabezpieczeniem zniszczonych budynków reaktorów rozpoczęto w sierpniu 2011 r. TEPCO postanowiło przykryć, a właściwie obudować, budynki reaktorów szczelnym, ogniotrwałym, plastikowym „namiotem”, rozpiętym na stalowej konstrukcji, wyposażonym w systemy wentylacyjne. Celem ustawienia takiej konstrukcji jest zatrzymanie uwalnianych substancji promieniotwórczych i ich kontrola. Konstrukcja namiotów jest monitorowana przez systemy czujników ciśnienia, wilgotności, temperatury pozwalające sprawdzać szczelność, kamery, detektory promieniowania itd.

Nowatorskim przedsięwzięciem jest sprawdzenie przed otwarciem pokrywy stanu reaktora przy pomocy metody endoskopowej. Spodziewając się nadtopienia rdzenia, co mogło uszkodzić różne elementy wewnątrz obudowy ciśnieniowej, postanowiono wprowadzić kamerę do wnętrza reaktora Nr 2. Średnica kamery odpornej na promieniowanie i temperaturę (wraz oświetleniem) oraz 10 metrowego kabla wynoszą 8 mm. Prace rozpoczęto w styczniu 2012 r. Są to przygotowania do usunięcia stopionego rdzenia i demontażu reaktorów. Przewiduje się, że do pełnego demontażu najbardziej niebezpiecznych elementów będą używane specjalnie do tego celu zaprojektowane roboty.

W drugim etapie proponowanej „mapy drogowej”, przewidzianym do realizacji w ciągu dwóch lat planuje się:

- stopniowe usuwanie paliwa z basenów wypalonego paliwa (w bloku 4 w okresie 2 lat),
- obniżenie poziomu promieniowania, na terenie elektrowni, pochodzącego z wtórnych źródeł (odpadów powstałych w czasie dekontaminacji, oczyszczania ścieków itp.) do poziomu 1mSv/rok,
- utrzymywanie i ulepszanie systemów chłodzenia reaktorów i basenów wypalonego paliwa,
- prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod dekontaminacji i sposobu usuwania nadtopionego paliwa w rdzeniach,
- prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod utylizacji odpadów radioaktywnych i ich składowaniem.

W trzecim etapie proponowanej „mapy drogowej”, przewidzianym do realizacji w ciągu 10 lat planuje się:

- całkowite usunięcie paliwa z rdzeni reaktorów i basenów we wszystkich blokach,
- zakończenie przygotowań do usunięcia szczątków paliwa, zakończenie dekontaminacji wewnątrz budynków, dekontaminacji i zalania wodą obudów bezpieczeństwa reaktorów i ostateczne usunięcie paliwa (ostateczny termin 10 lat),
- kontynuację ulepszania systemów chłodzenia reaktora

ów i basenów wypalonego paliwa i podtrzymywanie chłodzenia,

- zakończenie utylizacji odpadów ciekłych,
- kontynuację prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod utylizacji odpadów radioaktywnych i ich składowaniem oraz rozpoczęcie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod likwidacji reaktorów.

W czwartym etapie proponowanej „mapy drogowej”, przewidzianym do realizacji w ciągu 30-40 lat planuje się:

- ostateczne zakończenie procesu usuwania paliwa (20- 25lat),
- ostateczną likwidację reaktorów,
- utylizację odpadów.

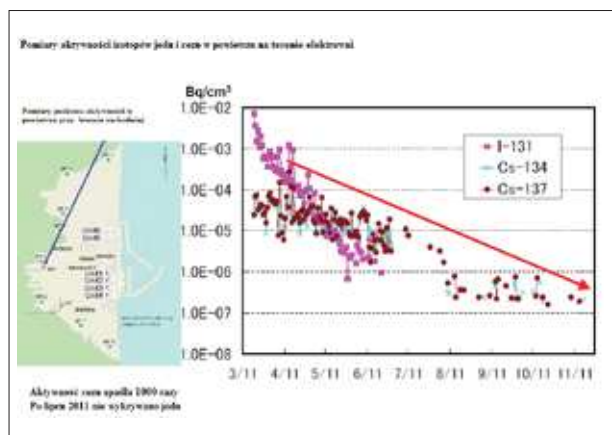
Wszystkim tym działaniom towarzyszyć będą szkolenia pracowników i stałe poprawianie bezpieczeństwa ich pracy.

Najbardziej narażeni na działanie promieniowania są pracownicy elektrowni, ekipy pomocnicze pomagające przy opanowywaniu awarii oraz ekipy zatrudnione przy pracach porządkowych usuwających skutki trzęsienia ziemi. Jak już wspomniano w normalnych warunkach pracy elektrowni maksymalna dopuszczalna dawka pracowników narażonych na promieniowanie nie może przekroczyć 100 mSv/5 lat. W warunkach zagrożenia, japońskie normy przewidywały w sytuacjach awaryjnych „jednorazowe narażenie” do 100 mSv. Wyjątkowo w Fukushimie dopuszczono 250 mSv. Jest to poziom dwukrotnie mniejszy od dopuszczanego przez Światową Organizację Zdrowia.

Prace dekontaminacyjne pozwoliły osiągnąć obecnie w granicach elektrowni dawkę roczną nie przekraczającą 0,1 mSv. Zmiany aktywności izotopów cezu i jodu na terenie elektrowni na przykładzie pomiarów wykonanych przy bramie zachodniej przedstawiono na rys. 3.

W związku z postępującą normalizacją na terenie elektrowni Fukushima Dai-ichi rząd japoński postanowił zmienić zasady dotyczące stref ewakuacji, a ściślej możliwości powrotu ludności na wybrane obszary. Ostateczne decyzje zostaną podjęte w 2012 r. Chcąc przyspieszyć proces rekultywacji zniszczonych terenów przygotowano wieloetapowy program usuwania skutków trzęsienia ziemi, w dużej mierze oparty na wcześniejszych bogatych doświadczeniach krajowych, dodatkowo uzupełniony o konieczność dekontaminacji terenu, zabudowań i lasów. Zakończeniem tego procesu będzie, wg założeń programu rządowego, powrót mieszkańców do swoich domów. Rząd jest zobowiązany do przygotowania kolejnej „mapy drogowej” przeprowadzenia dekontaminacji skażonych obszarów.

Przewiduje się wprowadzenie trzech stref w za-



Rys. 3. Zmiany aktywności izotopów ceszu i jodu na terenie elektrowni na przykładzie pomiarów wykonanych przy bramie zachodniej (prezentacja Ken Shimizu TEPCO)

leżności od poziomu promieniowania. W obszarach w których moc dawki promieniowania jest mniejsza niż 20 mSv/rok rząd podejmuje starania o jak najszybszy powrót mieszkańców do swoich domów. W obszarach, gdzie moc dawki może przekroczyć 20 mSv/rok, zalecane jest powstrzymanie się od powrotu. W obszarach, gdzie moc dawki przekracza 50 mSv/rok, powrót jest zabroniony. Określenie stref nastąpiło w marcu 2012 r. i jest prowadzone w porozumieniu z władzami lokalnymi. Całkowitym zakazem powrotu objęty jest obszar w odległości 3 km od elektrowni. Oczywiście decyzje te nie spotykają się z pełną aprobatą mieszkańców ewakuowanych terenów, żądających jak najszybszego umożliwienia im powrotu do normalnego życia, a w przypadku zakazu powrotu umożliwienie nowego startu w innej lokalizacji. Na rys. 5 przedstawiono projekt dekontaminacji obszarów objętych ewakuacją. Do określenia poziomu promieniowania pomiary wykonywane są w powietrzu na wysokości 1m.

Ponieważ powrót ewakuowanych ludzi do swoich domów zależy od wielu czynników, rząd prowadzi spotkania wyjaśniające przedstawiając terminarz prac mających się rozpocząć na początku czerwca 2012 uwzględniając przyjętą kolejność dekontaminacji (priorytety mają szlaki komunikacyjne) napotykanego trudności to np. niektóre obszary nawet w najmniej skażonej strefie wymagają specjalnych czynności takich jak usunięcie porowatych powierzchni w asfalcie, czy betonie. Właściciele gruntów i domów są proszeni o wyrażenie zgody na penetrację ich obejść przez ekipy dekontaminujące. Innym problemem, szczególnie w rejonach o większym skażeniu, jest zapewnienie bezpieczeństwa pracy ludzi zatrudnionych bezpośrednio przy usuwaniu zanieczyszczeń (odpowiedniej odzieży ochronnej, skrócenie czasu pracy itp.). Dekontaminacja najmniej skażonych (poniżej 10 mSv/rok) terenów włącznie z de-

kontaminacją gleby powinna zakończyć się w grudniu 2012 r., a terenów o skażeniu 20 mSv/rok przed marcem 2014 r.. Do marca 2014 r. powinna zakończyć się również dekontaminacja niezamieszkałych terenów o skażeniu pomiędzy 20 a 50 mSv/rok. Na terenach, gdzie zanotowano skażenie powyżej 50 mSv/rok na razie będą prowadzone prace badawcze i trudno jest zaprojektować szczegółowy plan prac.

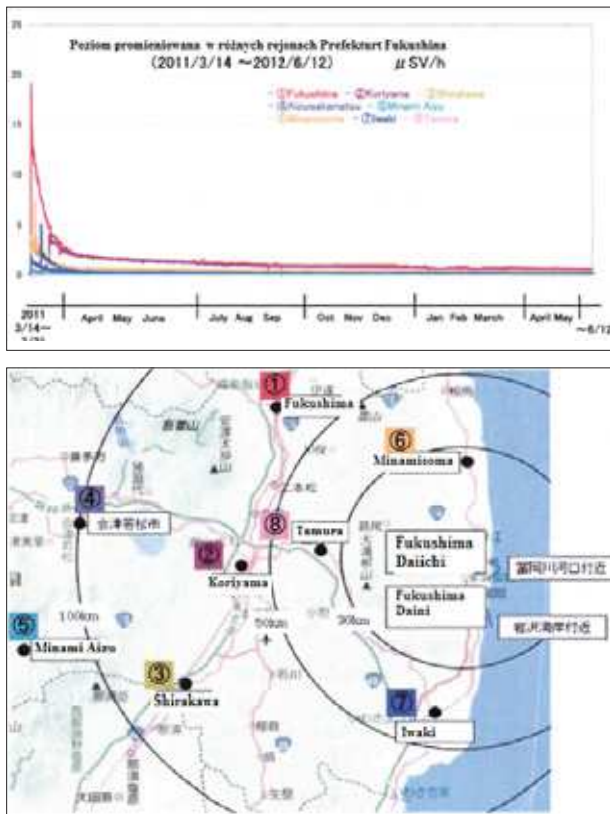
Przewiduje się, że proces całkowitego usunięcia zniszczeń w elektrowni może potrwać od 30 do 40 lat. Proces odnowy środowiska może być krótszy, ponieważ jest wspomagany przez zjawiska naturalne, np.: opady powodujące wymywanie skażonej gleby do rzek, krótki czas połowicznego rozpadu niektórych pierwiastków, zmniejszenie ich koncentracji na skutek różnych działań, jak np. odbudowa dróg, wymagająca wielu prac ziemnych.

Od 1 stycznia 2012 r. w Japonii weszła w życie regulacja dotycząca dekontaminacji obszarów skażonych w wyniku awarii elektrowni Fukushima Dai-ichi. Niektóre koncerty oferują opracowanie specjalnych przeznaczonych do tego celu urządzeń, których konstrukcja została wstępnie przetestowana na terenie elektrowni. Urządzenie do dekontaminacji i oczyszczania może dziennie usuwać 97% substancji radioaktywnych z 1,7 ton skażonej gleby i mułu. Inne oferowane i sprawdzone urządzenie może usuwać nisko aktywne substancje z wody w zbiornikach i kanalizacji. Zainteresowanie tymi urządzeniami wykazały przede wszystkim ośrodki przemysłowe i niektóre władze regionalne. Toshiba opracowuje bardziej ekonomiczne i nowsze rozwiązanie o zwiększonej wydajności.

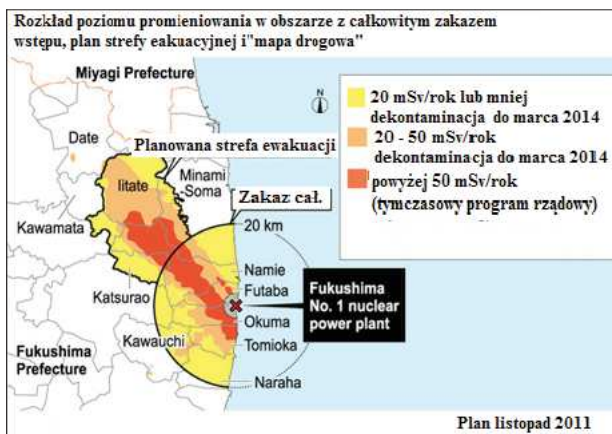
W Japonii proponuje się utworzyć w pobliżu miejscowości Futaba na północny zachód od elektrowni Fukushima, (jeden z najbardziej skażonych terenów) czasowe składowisko odpadów dekontaminacji z innych terenów. Rozpoczęto negocjacje z władzami lokalnymi i dyskusję społeczną. Proponowany jest państwowy wykup terenu. W Prefekturze Fukushima 80% powierzchni wymaga dekontaminacji. Rząd będzie pokrywał część kosztów dekontaminacji w obszarach, w których moc dawki przewyższa 0,23 μ Sv/h oraz poniesie kosztów oczyszczania z mułu, którego aktywność osiąga 8 000Bq/kg. Postanowiono również wytypować priorytetowe miejsca dekontaminacji.

Obecnie funkcjonują już rozległe, gęste sieci monitoringu, obserwujące zmiany poziomu promieniowania różnych rejonach strefy ewakuacji i poza nią. Badane są poziomy promieniowania w powietrzu, glebie, wodach (rzeki, ocean), w lasach, polach uprawnych (szczególnie ryżu). Kontrolowana jest też żywność, pobierane są próbki organizmów żywych (roślin, owadów, ryb, zwie-

rząt hodowlanych). Obserwowany jest powolny postęp, ale nadal często wykrywane są „gorące plamy” o znacznie podwyższonej aktywności (rys. 4).



Rys. 4. Poziom promieniowania w różnych miejscach Prefektury Fukushima (JAIF)



Rys. 5. Rozkład poziomu promieniowania w obszarach ewakuacyjnych (Asahi)

Wiele elementów nie zostało jeszcze do końca wyjaśnionych np.: pojawienie się w początkowych chwilach awarii śladowych ilości izotopów strontu S^{90} , plutonu (P^{238} , P^{239} , P^{240} i P^{241} – ok. 50g) neptunu Np^{239} - 1mg, teluru Te^{129} obecnie trudno wykrywalnych. Wyniki pomiarów zgodnie z ustaleniami o przejrzystości informacji są po-

dawane w codziennych biuletynach.

Eksperymentalną dekontaminację wybranych obiektów rozpoczęto 18 listopada 2011 r. Wstępnie oczyszczono 4 budynki władz regionalnych. Do dekontaminacji powołano 900 wyspecjalizowanych zespołów. Do oczyszczenia przewidziano 110 000 budynków i oczekuje się na zgodę właścicieli na jej przeprowadzenie. Mobilne zespoły dekontaminacyjne są wyposażone w przewożne urządzenia dozymetryczne pozwalające sprawdzać, czy pracownicy zespołów nie zostali skażeni (tzw. liczniki skażeń całego ciała) oraz urządzenia do dekontaminacji odzieży ochronnej.

Od chwili awarii w całej skażonej okolicy (w promieniu 30 km od centrum źródła skażeń czyli elektrowni Fukushima Dai-ichi), prowadzone są systematyczne pomiary poziomu promieniowania powietrza, gleby oraz wód. Obserwowana jest wyraźna tendencja spadkowa. Tym niemniej w wątpliwych rejonach szkoły pozostają zamknięte i tam wszędzie zostały dostarczone dozymetry.

Władze lokalne rozpoczęły i prowadzą badania tarczycy 360 000 młodzieży do lat 18 zamieszkałej w prefekturze Fukushima. Przebadane osoby pozostaną pod obserwacją do końca życia. Od chwili awarii przebadano około 2 000 000 ludzi w miastach i wioskach nawet w promieniu do 50 km od elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi. Nie stwierdzono poważniejszych przypadków napromieniowania (97% badanej populacji była narażona na dawkę poniżej 5 mSv). Podjęto obserwację i badania 25 000 dzieci urodzonych w tym rejonie, w tym czasie, które pozostaną pod obserwacją do osiągnięcia dojrzałości. Publikowane są regularnie mapy pokazujące rozprzestrzenienie się różnych izotopów pierwiastków Cs, J, Pu, Sr, Cu, Te, które były wykryte w glebie wokół Fukushima. Obecnie zabrania się upraw ryżu w tych rejonach. Prowadzone są stałe badania żywności, monitorowane są hodowle bydła, zbiorniki wody pitnej, lasy oraz wody przybrzeżne.

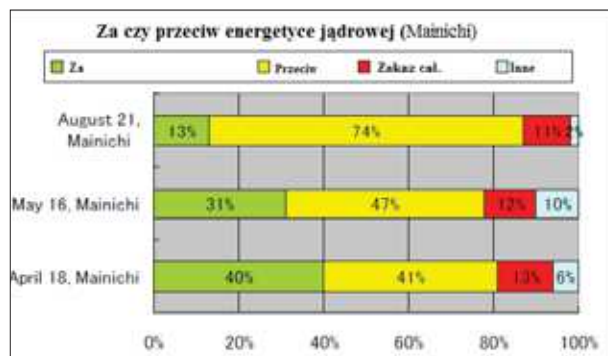
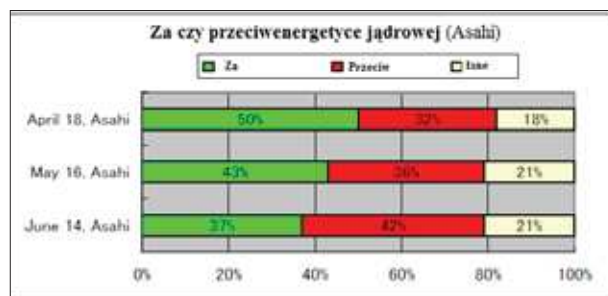
Rząd Japonii postanowił w ciągu kilku lat (do 2015 r.) rozmieścić na dnie oceanu w najbardziej prawdopodobnych miejscach występowania trzęsień ziemi, podwodne czujniki sejsmiczne, oparte o hydrociśnieniowe detektory, tzw. czujniki tsunami. Docelowo planowane jest okrążenie całej Japonii podobnymi czujnikami umieszczanymi nawet 400 km od jej brzegu. Najwięcej tych czujników znajdzie się w okolicy prefektur Miyagi i Fukushima.

Rozwijająca się dynamicznie gospodarka Japonii wymaga stałych i stabilnych dostaw energii. Japonia jest zmuszona do importu około 80% potrzebnych surowców energetycznych. Dodatkowo, położenie na wyspach uniemożliwia sprowadzanie energii z państw

sąsiednich. Po ostatniej awarii w Fukushima stopień akceptacji społecznej dla energetyki jądrowej, mimo zrozumienia konieczności kontynuowania dotychczasowej polityki energetycznej, wyraźnie zmalał, co przedstawiono na rys. 6.

Należy podkreślić, że ogrom prac organizacyjnych, naukowych (rozwiązanie problemu oczyszczania wody w elektrowni), technologicznych, legislacyjnych oraz kontrolnych, które zostały wykonane od czasu awarii jest imponujący. Obecnie przed rządem Japonii stoi nowe, niezwykle trudne wyzwanie, ponownego przekonania społeczeństwa do energetyki jądrowej. Dyskutowana jest ustawa ograniczająca wydawanie licencji na eksploatację elektrowni jądrowej do 40 lat z ograniczoną możliwością przedłużenia. Rozpoczęto również kontrolę wszystkich japońskich elektrowni jądrowych. Kontrole mają być ukończone do końca marca 2012 r. W chwili obecnej z uwagi na ograniczoną liczbę pracujących reaktorów w niektórych rejonach odczuwane są braki energii.

Prowadzone są też dyskusje i wstępne prace nad uniezależnieniem się od energetyki jądrowej.



Rys. 6. Statystyki poparcia energetyki jądrowej (Asahi Shinbum, Maonichi)

dr inż. Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów
Na Rzecz Energii Jądrowej,
Warszawa

Literatura:

1. IAEA, "Safety Quides Classification of radioactive Waste" RADWASS Programme 1994
2. IAEA –TECDOC- 1336 „Combined methods for radioactive waste treatment”, 2003
3. K. Rzymkowski, „Postępowanie z odpadami ciekłymi w elektrowniach jądrowych”, PTJ Nr3 Warszawa 2011
4. K. Rzymkowski, „Usuwanie skutków katastrofy ekologicznej wywołanej falą tsunami” Ekoatom Luty- Marzec 4/1, Warszawa 2012
5. V. M. Efremenkov, "Radioactive Waste Management at Nuclear Power Plants", IAEA Bulletin 4/1989
6. World Nuclear Association 2007 Nuclear Power In Japan
7. www.IAEA.org
8. www.tepco.co.jp
9. Raport IAEA 2008
10. www.jaif
11. www.ajw.ashi.com