

ANALIZA BEZPOŚREDNICH SKUTKÓW AWARII W ELEKTROWNI JĄDROWEJ FUKUSHIMA DAIICHI SKAŻENIE RADIOAKTYWNE

Direct analysis of the consequences of failure at the FUKUSHIMA DAIICHI nuclear power plant Radioactive contamination

Krzysztof Rzymkowski

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono wnioski z analizy skutków awarii w elektrowni jądrowej Fukushima Daiichi oraz powstałe zagrożenie radiacyjne w jej wyniku.

Abstract: Analysis of consequences of Fukushima Daiichi Power plant incident with respect to resulting radioactivity threat is presented.

Słowa kluczowe: dawka, skażenie radioaktywne, tsunami

Keywords: dose, radioactive contamination, tsunamis

Katastrofa elektrowni jądrowej Fukushima w Japonii, spowodowana falą tsunami 11 marca 2011 r., stała się początkiem szerokiej dyskusji o bezpieczeństwie energetyki jądrowej ze szczególnym uwzględnieniem sprawdzenia stosowanych i planowanych rozwiązań technicznych, opłacalności, perspektywach dalszego jej rozwoju. Podejmowano też temat ochrony środowiska, m.in. z punktu widzenia tzw. idei zrównoważonego rozwoju, zakładającej oszczędną gospodarkę zasobami naturalnymi. Analiza przyczyn katastrofy w elektrowni jądrowej w Japonii, zastosowanych rozwiązań konstrukcyjnych, wymagań bezpieczeństwa i wdrażania procedur działań awaryjnych rozpoczęła się niemal zaraz po trzęsieniu ziemi i będzie jeszcze długo przedmiotem rozważań i wszechstronnych badań organizacji międzynarodowych, ośrodków badawczych, a przede wszystkim konstruktorów reaktorów.

Przeprowadzenie dokładnej analizy skutków awarii i ustaleniu pełnego ich zakresu jest procesem długotrwałym dotyczącym nie tylko problemów technicznych, ale i oceny jej wpływu na ludzi i środowisko. Analizy prowadzone bezpośrednio po katastrofie przez liczne zespoły ekspertów w wielu krajach, na podstawie dostępnych wówczas materiałów, miały charakter analiz pomocniczych i były w większości oparte o symulacje komputerowe. Pierwszą wstępną analizę, opublikowaną 9 maja 2011 r., pt. „Wnioski wypływające z analizy awarii w elektrowni jądrowej Fukushima Daiichi” (*Lessons learned from the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant*) przeprowadził zespół ekspertów z OASIS (*Open Standards for the Information Society*) – Otwarte Standardy Informacji Społecznej, Podkomisja Analiz Technicznych), CINS (*Committee for Investigation of Nuclear Safety*) – Komitet Badań Bezpieczeństwa Jądrowego) oraz AESJ (*Atomic Energy*

Society of Japan) – Japońskie Towarzystwo Energii Atomowej). W raporcie analizowano znane przyczyny awarii, uwzględniając rozwiązania techniczne, takie jak odporność na falę tsunami, brak zasilania, chłodzenie awaryjne, zarządzanie kryzysowe, wybuch wodoru, zabezpieczenie basenów wypalonego paliwa, badanie bezpieczeństwa reaktora, procedury bezpieczeństwa, organizacja systemu kryzysowego, informowanie społeczeństwa, procedury bezpieczeństwa w czasie alarmu.

Analizując poszczególne zagadnienia, ustalono przede wszystkim, że założenia techniczne elektrowni nie uwzględniały możliwości wystąpienia tak wysokiej fali tsunami. Statystyka ze 140 ostatnich lat nie wskazywała na prawdopodobieństwo wystąpienia fali takich rozmiarów, a budowa elektrowni na wysokości 10 m nad poziomem morza wydawała się bezpieczna. Założenia projektowe przewidywały falę około 6,5 m. Wysokość ta odpowiada mniej więcej trzem piętrami, podczas gdy fala według niektórych szacunków przekraczała 14-15 m (tj. prawie 5 pięter). Fala zniszczyła urządzenia awaryjne, co z kolei wywołało dalsze zniszczenia. Długotrwały brak zasilania uniemożliwił m.in. monitorowanie stanu reaktora i utrudniał zarządzanie kryzysowe. Ustalono również, że system chłodzenia elektrowni wykorzystujący wodę morską nie był odpowiednio zabezpieczony przed tsunami. Nie przewidziano też możliwości wydostania się wodoru z obudowy bezpieczeństwa oraz jego wybuchu. Nie było również dostatecznego odseparowania materiałów radioaktywnych w basenie wypalonego paliwa na wypadek uszkodzenia budynku reaktora. System zasilania awaryjnego uznano za niewystarczający, podobnie jak japońskie procedury bezpieczeństwa. Politykę informowania społeczeństwa określono, jako nieprzejrzystą. Uznano natomiast, że decyzje podejmowane przez

zespół zarządzania kryzysowego znacząco przyczyniły się do ograniczenia skali awarii. Jako skuteczne określono też większość rozwiązań technicznych zapobiegających zniszczeniom wynikającym z trzęsienia ziemi jako takiego. Wobec tego eksperci zalecili:

- opracowanie i rozbudowę systemów zabezpieczeń fizycznych i struktur organizacyjnych systemu bezpieczeństwa w zakresie elementów chroniących przed skutkami tsunami – przygotowanie alternatywnych, różnorodnych źródeł zasilania, np. chłodzonych powietrzem turbin gazowych,
- rozważenie możliwości stosowania zróżnicowanych systemów chłodzenia wspomagających chłodzenie wodą morską (jest to bardzo istotny wniosek ze względu na to, że wszystkie pracujące i planowane w Japonii elektrownie jądrowe budowane są na wybrzeżu i wykorzystują do chłodzenia wodę morską),
- przeprowadzenie ilościowej analizy ryzyka wystąpienia awarii i wprowadzenie pojęcia ryzyka do procedur bezpieczeństwa,
- przy założeniu możliwości występowania poważnych awarii, opracowanie nowego dokładnego systemu zarządzania kryzysowego przygotowanego tak, by jego elementy fizyczne (linie przesyłowe, komunikacyjne, systemy monitorowania) były dublowane. Jednocześnie zwrócono uwagę na konieczność odpowiedniego przygotowania personelu przez ćwiczenia i edukację. Zalecono, by przy opracowywaniu systemu zarządzania kryzysowego uwzględniona była możliwość wybuchu wodoru i ochrona basenów wypalonego paliwa. Ponadto zalecono restrukturyzację procedur bezpieczeństwa, włączając w to zmianę regulacji prawnych oraz reorganizację systemu,
- wprowadzenie przejrzystego systemu komunikacji społecznej, zakładając, że może się wydarzyć poważna awaria, należy tak zaprojektować nowy system bezpieczeństwa by jego zabezpieczenia znacznie przewyższały spodziewane skutki.

Po przeprowadzeniu pełnej analizy skutków i mechanizmów awarii w Fukushima możliwe będzie udoskonalenie systemu bezpieczeństwa. Oczywiście wszystkie zalecenia należy realizować etapowo, poczynając od najpilniejszych (krótkoterminowych) realizowanych w ciągu roku i wymagających większych reform wprowadzanych w ciągu 2-3 lat. Efektem przebudowy systemu bezpieczeństwa jądrowego w Japonii powinna być jego większa skuteczność, przejrzystość i usunięcie istniejących obecnie przeszkód biurokratycznych. Powyższe analizy i propozycje zmian przedstawiono w bardzo skróconej formie, ponieważ pełne zalecenia dotyczące zmian np. krótkoterminowych są bardzo szczegółowe i odnoszą się do rozwiązań technicznych. 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 Paryżu. W czasie tych spotkań przedstawiono również raport rządu Japonii (*Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety – The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations*). Zadaniem konferencji było również ponowne rozpatrzenie i wypracowanie międzynarodowych standardów bezpieczeństwa jądrowego oraz wzmocnienie roli MAEA w ich realizacji.

Raporty cząstkowe analizujące poszczególne fazy katastrofy były przygotowywane systematycznie w ciągu ca-

tego roku. W jednym z opublikowanych w grudniu 2011 r. stwierdzono m.in., że 10 m fala tsunami mogłaby zostać powstrzymana, gdyby wprowadzono wcześniejsze zalecenia ekspertów, jak również, że po utracie zasilania operator (pracownicy elektrowni) nie wprowadził przewidywanych procedur awaryjnych dla systemów chłodzenia reaktorów 1 i 3. W raporcie stwierdzono, że gdyby uruchomiono wcześniej wozy straży pożarnej do schładzania (pompowania wody), zniszczenia byłyby ograniczone i mniej substancji radioaktywnych przedostałoby się do atmosfery. Działania rządu oceniono, jako niedostateczne, szczególnie 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.

Skażenie radioaktywne polega na znacznym podniesieniu aktywności promieniotwórczej powyżej jej naturalnego poziomu. Jednostką aktywności jest bekerel, Bq: $1 \text{ Bq} = 1 \text{ rozpad}/1 \text{ s}$

Zanieczyszczeniem lub skażeniem środowiska nazywamy stan powstały w wyniku pojawienia się w powietrzu, w wodzie lub w glebie, różnych substancji w ilościach i składzie odbiegających od stanu naturalnego i wpływających ujemnie na zdrowie człowieka, przyrodę, klimat lub glebę. Promieniotwórczość naturalna (promieniowanie naturalne) - pochodzi z naturalnych pierwiastków radioaktywnych obecnych w glebie, skałach, powietrzu i wodzie. Naturalne promieniowanie jonizujące jest obecne w minerałach, przyswajanych przez rośliny i zwierzęta i pośrednio przez ludzi. Źródłem tego promieniowania nie da się uniknąć. Np. przeciętna całkowita aktywność promieniotwórcza ciała człowieka wynosi przy wadze 80 kg 8000 Bq (około 100-140 Bq/kg), aktywność 1 litra mleka 50 Bq, wody morskiej 12 Bq/l.

Oddziaływanie promieniowania na tkankę organizmów żywych lub inną materię badane jest za pomocą dawki określanej, jako ilość energii pochłoniętej przez każdy kilogram napromieniowywanej materii.

Obowiązującą jednostką (uwzględniającą rodzaj promieniowania) jest Siwert definiowany, jako ilość energii 1 J (dżula) przez 1 kg materii tzn. $1 \text{ Sv} = \text{J}/\text{kg}$. [m^2/s^2]. Nazwa jednostki pochodzi od nazwiska Rolfa Maximiliana Sieverta szwedzkiego fizyka, medyka, założyciela Międzynarodowego Stowarzyszenia Ochrony przed Promieniowaniem (IRPA).

Dawka graniczna dla osób zawodowo narażonych na promieniowanie wynosi 20 mSv/rok (20000 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$), podobny limit dla ogółu ludności wynosi 1mSv/rok (1000 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$). Podane limity nie obejmują dawek otrzymywanych przez oddziaływanie promieniowania naturalnego charakterystycznego dla danego miejsca i zabiegów terapeutycznych. Średnia roczna dawka pochodząca z promieniowania naturalnego w Polsce wynosi 2,6 mSv (2600 μSv). Należy podkreślić, że dawka roczna jest dawką zsumowaną tzn. np. 20 mSv w ciągu roku jest sumą narażeń na promieniowanie, czyli by osiągnąć ten limit dzienne narażenie nie powinno przekraczać 20 mSv / 365 dni = 0,0547 mSv/dzień (54,7 $\mu\text{Sv}/\text{dzień}$ tj. około 2,3 $\mu\text{Sv}/\text{h}$).

W normalnych warunkach eksploatacji urządzeń jądrowych dopuszczalna dawka dla pracowników na-

rażonych na promieniowanie nie może przekroczyć 100 mSv/5 lat, (czyli 20 mSv /rok), jednakże w ciągu jednego roku nie może przekroczyć 50 mSv. W warunkach zagrożenia, w sytuacjach wykonywania prac awaryjnych (ratowanie życia, ochrony zdrowia, uniknięcia większego narażenia) dopuszcza się dawkę, 500 mSv. Japońskie normy przewidują w takich sytuacjach 100mSv. Wyjątkowo w Fukushima dopuszczono 250 mSv.

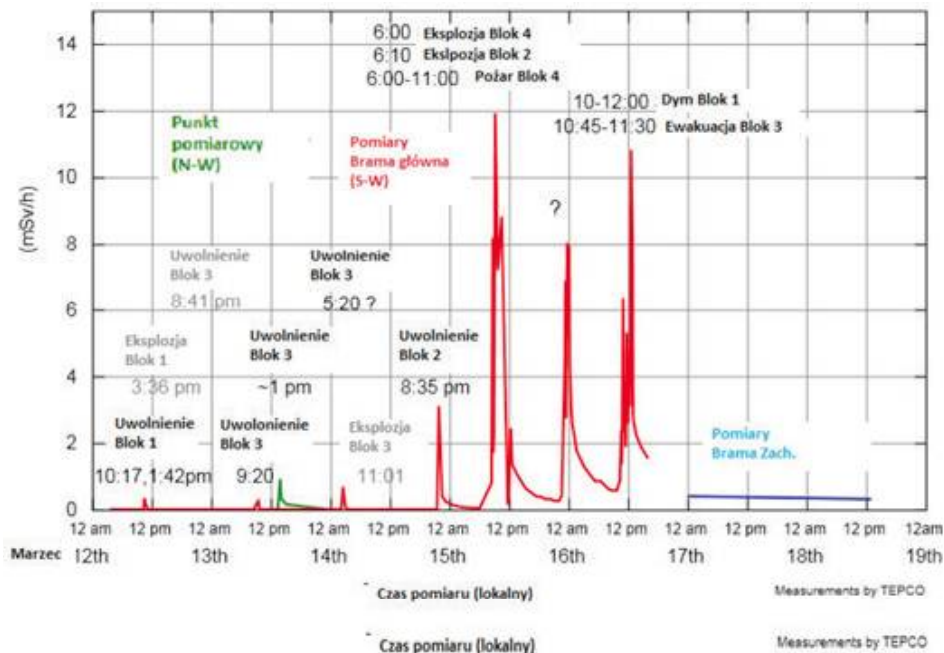
Opis rozprzestrzeniania się skażeń w wyniku awarii elektrowni w Fukushima jest bardzo trudny ze względu na niezwykle szybkie zmiany sytuacji i rozległość obserwowanego obszaru i niejednorodność obserwacji (podawane są wyrywkowe dane utrudniające odtworzenie pełnego obrazu zdarzeń i korelacji czasowych).

Skażenia na terenie elektrowni jądrowej

Bezpośrednio po trzęsieniu ziemi i przejściu fali tsunami (11 marca 2011) nie zanotowano żadnych zmian, ale już następnego dnia wystąpiły pierwsze zmiany na terenie elektrowni jądrowej polegające na wzroście poziomu jodu ^{131}J i ^{137}Cs w pobliżu bloku 1.

W dniu 13 marca 2011 r., po kontrolowanym wypuszczeniu pary w celu obniżenia ciśnienia w reaktoro-

rze bloku 3 pojawiły się pierwsze sygnały o skażeniu radioaktywnym, ale nie znano jego zasięgu i stopnia zagrożenia. Na terenie elektrowni pomiędzy blokami 2 i 3 poziom promieniowania wynosił 30 mSv/h, a po wypuszczeniu pary w pobliżu bloku 3, 400 mSv/h i bloku 4, 100 mSv/h. Zalecono by ludność zamieszkała w promieniu pomiędzy 20 i 30 km nie opuszczała domów. Szczególnie trudna sytuacja powstała między 15 i 16 marca 2011 r. w wyniku eksplozji i pożarów w blokach 2 i 4 oraz gwałtownego wzrostu poziomu promieniowania w bloku 3, z którego ewakuowano pracowników. Według niektórych źródeł w pobliżu reaktora zanotowano poziom promieniowania 1000 mSv/h spadający stopniowo do 600 mSv/h. W punkcie pomiarowym przy bramie elektrowni poziom wynosił 10 mSv/h. Zarządzonym ewakuację ludności w promieniu 20 km ze szczególnym uwzględnieniem kierunku północno-zachodniego gdzie przewidywano największe stężenie skażeń. Na rys. 1 przedstawiono pomiary poziomu promieniowania na terenie elektrowni bezpośrednio po 2011 r. po kontrolowanych wypuszczeniach pary w celu obniżenia ciśnienia i eksplozjach.



Rys. 1. Poziom promieniowania na terenie elektrowni w pierwszych godzinach po awarii (według JAIF)

Fig. 1. Radiation level at the plant during first hours after the incident (JAIF)

Skażenia poza terenem elektrowni jądrowej

Pomiary wykonane w 47 miastach Japonii z udziałem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) nie wykazały znaczącego wzrostu poziomu promieniowania. Jednakże w niektórych obszarach 30 km od elektrowni w przeciągu doby od ostatnich eksplozji zanotowano znaczący wzrost promieniowania osiagający miejscami 80-170 $\mu\text{Sv/h}$. W niektórych nawet odległych rejonach zaobserwowano wzrost poziomu jodu ^{131}J i cezu ^{137}Cs w warzywach, mleku, glebie.

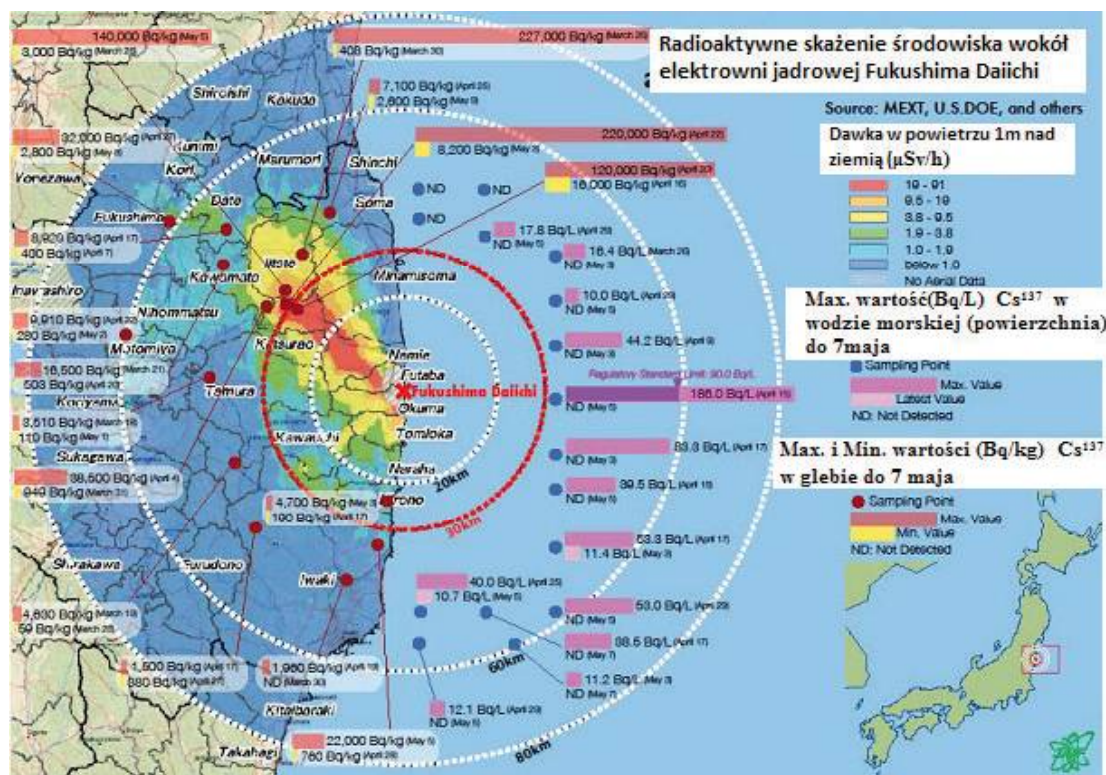
W dniu 21 marca 2011 r. (MAEA) podała wyniki pomiarów dokonanych w promieniu 16–58 km od elektrowni potwierdzające skażenie radioaktywne na poziomie 0,2-0,9 MBq/m².

W dniu 23 marca 2011 r. w oficjalnym komunikacie MEXT (*Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology*) – Ministerstwo Edukacji, Kultury, Sportu, Nauki i Technologii) podało, że w jednym z punktów pomiarowych zlokalizowanym w kierunku północno-zachodnim i oddalonym o 40 km od elektrowni jądrowej Fukushima aktywność jodu ^{131}J w glebie wynosiła 300 kBq/kg a cezu ^{137}Cs 28,1 kBq/kg. Dzień później w tych samych warunkach ^{131}J – 1 170 kBq/kg, ^{137}Cs 163 kBq/kg.

W dniu 24 marca 2011 r. trzech pracowników elektrowni jądrowej pracujących w bloku 3 w rejonie zalany skażoną wodą otrzymało bardzo wysoką dawkę promieniowania w wyniku braku odzieży ochronnej. Dwóch wymagało opieki szpitalnej.

W wyniku opadów deszczu w dzielnicy Shinjuku w Tokio zaobserwowano pojawienie się ^{131}I o aktywności $8,39 \text{ kBq/m}^2$ i ^{137}Cs o aktywności $6,31 \text{ kBq/m}^2$.

W dniu 26 marca 2011 r. zaobserwowano podniesienie poziomu jodu w wodzie morskiej w pobliżu elektrowni do aktywności 76 kBq/l i cezu 20 kBq/l .



Rys. 2. Wyniki pomiarów po awarii w okolicy elektrowni Fukushima Daiichi (według JAIF)

Fig. 2. Measurement results after the incident in the Fukushima Daiichi region (JAIF)

W dniu 29 marca 2011 r. w odległości 33 m od wylotu zrzutu wody chłodzącej (zob. rys. 2) aktywność jodu wynosiła 138 kBq/l .

W dniu 30 marca 2011 r. w odległości 330m od wylotu zrzutu wody chłodzącej (zob. rys. 2) aktywność jodu wynosiła 180 kBq/l . W miejscowości znajdującej się poza strefą o promieniu 30 km zaobserwowano obecność ^{137}Cs o aktywności $3,7 \text{ MBq/m}^2$.

Wyniki pomiarów w pierwszym miesiącu po awarii w okolicy elektrowni przedstawiono na rys. 2

Podsumowanie

Pojawienie się skażeń terenu elektrowni i środowiska izotopami jodu, cezu i plutonu zostało zauważone bezpośrednio po kontrolowanym wypuszczeniu pary w celu obniżenia ciśnienia w reaktorze. Izotopy przedostały się do atmosfery, gleby i oceanu. Według oceny międzynarodowych ekspertów ilość, aktywność i zasięg skażenia był, co najmniej 10-krotnie mniejszy niż w przypadku podobnej emisji w czasie awarii w Czarnobylu (gdzie nastąpiło całkowite stopienie rdzenia), stanowiąc znacznie mniejsze zagrożenie dla zdrowia ludności szczególnie poza terenem elektrowni. W następnych dniach, po kolejno występujących eksplozjach wodoru i kontrolowanym wypuszczeniu pary radiacji w pobliżu elektrowni oraz emisją radionuklidów wzrastały pulsacyjnie, zgodnie z kolejnymi planowanymi i nieplanowanymi uwolnieniami. Wzrosty poziomu

radionuklidów trwały krótko, zarówno na terenie elektrowni, jak i w dalszej okolicy. W oficjalnym raporcie MAEA podkreślono, że do chwili jego publikacji (w czerwcu 2011 r.) nie zanotowano żadnych przypadków niebezpiecznych dla zdrowia objawów działania podwyższonego poziomu promieniowania w zagrożonym awarią rejonie. Należy podkreślić, że pierwsze objawy skutków promieniowania są wykrywane w badaniach morfologicznych ludzi, gdy jednorazowe, gwałtowne napromieniowanie całego ciała przekroczy 500 mSv .

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 ^{90}Sr , plutonu (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu i ^{241}Pu – około 50g) neptunu ^{239}Np , teluru ^{129}Te . Z punktu widzenia ochrony radiologicznej ludności najistotniejszym jest jod i cez szybko wchłaniane przez organizm. Zgodnie z początkowymi szacunkami rządu Japonii podczas całej awarii wydostał się ^{137}Cs o aktywności 15 PBq . Wielkość ta jest kwestionowana przez niektóre ośrodki zagraniczne szacujące całkowitą aktywność ^{137}Cs na 36 PBq . (P skrót przedrostka peta odpowiadającemu współczynnikowi 10^{15} jednostki podstawowej).

W raporcie opracowanym przez Austriacką Służbę Meteorologiczną (Austrian Meteorological Service). Na podstawie danych zebranych przez światową sieć pomiarową CTBTO oceniono, że całkowita emisja ^{131}I mieściła się w granicach 10 PBq – 700 PBq . Całkowitą emisję ^{131}I w czasie katastrofy w Czarnobylu szacowano 1760 PBq .

Najbardziej narażeni na działanie promieniowania byli pracownicy elektrowni, ekipy pomocnicze pomagające przy opanowywaniu awarii oraz ekipy zatrudnione przy pracach porządkowych usuwających skutki trzęsienia ziemi. Jak już wspomniano przed awarią 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 Fukushima dopuszczono 250 mSv. Jest to poziom dwukrotnie mniejszy od dopuszczanego przez Światową Organizację Zdrowia. Według informacji MAEA na ciele (głównie twarzach) 17 osób znajdujących się w pobliżu elektrowni osadził się pył radioaktywny i po szybkiej dekontaminacji (woda i mydło) nie było potrzeby hospitalizacji.

W czasie kontrolowanego wypuszczenia pary w dniu 22 marca 2011 r., w bloku 3 jeden z pracowników otrzymał dawkę 100 mSv. Dodatkowo przy wykonywaniu innych prac zostało napromieniowanych jeszcze 7 pracowników a jeden z nich otrzymał dawkę 150 mSv.

W dniu 24 marca 2011 r. trzech pracowników elektrowni pracujących w bloku 3 w rejonie zalanym skażoną wodą otrzymało dawkę 170 mSv i bardzo wysoką dawkę promieniowania od 2 do 6 Sv na nogi, ponieważ nie nosili obuwia ochronnego, a firma, która ich zatrudniała, nie przewidywała wykonywania prac w skażonej substancjami radioaktywnymi wodzie, której aktywność wynosiła 3,9 TBq/m³ (Tera – 10¹²). Dwóch pracowników wymagało opieki szpitalnej. W tym samym czasie 17 pracowników elektrowni otrzymało dawkę 100 mSv.

We wrześniu 2011 r. ilość gazowych substancji radioaktywnych uwalnianych do atmosfery była mniejsza o około 200 MBq/h w porównaniu z początkowym okresem awarii. W celu dalszego ograniczenia emisji substancji radioaktywnych w budynkach reaktorów 1, 2, i 3 zamontowano nowe filtry.

Wyniki pomiarów po pierwszym miesiącu po awarii, do końca marca, według oficjalnych danych TEPCO, dawkę powyżej 100 mSv otrzymało 21 pracowników tj.

- 100-150 mSv otrzymało 11 pracowników,
- 150-200 mSv otrzymało 8 pracowników,
- 200-250 mSv otrzymało 2 pracowników

W lipcu przeprowadzono kontrolę 6700 pracowników zatrudnionych przy usuwaniu skutków awarii.

Dawkę powyżej 250 mSv otrzymało 6 pracowników

- 200-250 mSv otrzymało 3 pracowników
- 150-200 mSv otrzymało 14 pracowników
- 100-150 mSv otrzymało 88 pracowników

Nieprzerwane monitorowanie od chwili awarii terenu elektrowni wskazuje na systematyczne obniżanie się poziomu promieniowania. Od kwietnia 2013 r. żaden z pracowników, nie otrzymał więcej niż 50 mSv, a 96% otrzymało mniej niż 20 mSv. Wprowadzono zmianowy i rotacyjny system pracy, taki że pracownicy, którzy otrzymali dawkę większą są przesuwni do obszarów mniej zagrożonych. Czas pracy w obszarach zagrożonych jest ograniczony. Przepisy dotyczące bezpieczeństwa pracy są przestrzegane rygorystycznie. Po około czterech miesiącach od katastrofy na terenie elektrowni i w jej otoczeniu nie wykrywano ¹³¹I. Po około sześciu miesiącach aktywność ¹³⁴Cs i ¹³⁷Cs obniżyła się 1000 krotnie. Mniej więcej w tym samym czasie poziom aktywności tych izotopów w wodzie morskiej, w odległości 15 km od brzegu powrócił do normy.

Trzęsienie ziemi nastąpiło według czasu lokalnego o godz. 14:46, a władze lokalne zaleciły o godz. 20:50

ewakuację ludności w promieniu 2 km od elektrowni. Pół godziny później rząd nakazał ewakuację w promieniu 3 km i zakaz opuszczania domu w promieniu 10 km. Następnego dnia nakaz obowiązkowej ewakuacji rozszerzono do 20 km, wprowadzono zakaz opuszczania pomieszczeń w pierścieniu 20-30 km. W tej strefie poproszono następnie o dobrowolną ewakuację zamykając całkowicie rejon o promieniu 20 km.

Ostatecznie przewidziano wprowadzenie trzech stref ewakuacyjnych w zależności od poziomu promieniowania (tzw. „mapa drogowa”). W obszarach, w których moc dawki promieniowania jest mniejsza niż 20 mSv/rok podjęte były starania o jak najszybszy powrót mieszkańców do swoich domów. W obszarach, gdzie moc dawki może przekroczyć 20 mSv/rok, zalecane było powstrzymanie się od powrotu. W obszarach, gdzie moc dawki przekraczała 50 mSv/rok, powrót był zabroniony. Określenie stref nastąpiło do końca marca 2012 r. i było 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.

*dr inż. Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów na
Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa*

Literatura:

- [1] David Lochbaum, Got Water Union Concerned Scientists, Citizens and Scientists for Environmental Solutions, Washington Oct 2007
- [2] Ex-skf.blogspot.com
- [3] K. Rzymkowski, Fukushima Jeden Ekoatom Kwiecień -Maj Warszawa 2011 1/1
- [4] K. Rzymkowski, Refleksje po Tsunami Ekoatom Lipiec-Sierpień Warszawa 2011 2/1
- [5] K. Rzymkowski, Usuwanie skutków katastrofy ekologicznej wywołanej falą tsunami Ekoatom Luty-Marzec Warszawa 2012 4/1
- [6] K. Rzymkowski, Problemy oczyszczania wody podczas usuwania skutków awarii w elektrowni jądrowej Fukushima, PTJ, 2015
- [7] K. Rzymkowski, Energetyka Jądrowa Japonii PTJ 4/2008
- [8] R.O. Abgel Rachman, H.A. Ibrahim, Yung-Tse Hung, Liquid radioactive Wastes Treatments: A Review, Water 2011 www.mdpi.com/journal/water
- [9] World Nuclear Association 2007 Nuclear Power In Japan
- [10] www.guardian.co.uk
- [11] Raport IAEA 2008
- [12] Materiały Seminarium TEPCO 19 Marzec Warszawa
- [13] www.IAEA.org 2011 03 29
- [14] www.neimagazine.com
- [15] www.tepco.co.jp 2011 03 26
- [16] Biuletyn Kansei Nuclear Power 1990
- [17] Biuletyn Ohi Power Station 2003
- [18] Biuletyn Kashiwazaki Kariwa 2003
- [19] Folder: Tokyo Electric Power Company, Tokyo 1-3 Uchisawaicho 1-Chome Chyoda-ku Fukushima Daichi Power Station, 22 Kitarhara Ottozawa Ohkuma-machi Futaba-gun Fukushima-ken