

## Katastrofa w Japonii

Jak wszyscy wiemy, 11 marca 2011 roku o godzinie 14:46 czasu lokalnego (JST: UTC+9h) na północny wschód od Tokio, 130 km na wschód od półwyspu Oshika, na głębokości około 30 km, nastąpiło trzęsienie ziemi o sile około 9 stopni w skali Richtera. Było ono poprzedzone szeregiem mniejszych wstrząsów, z których największy, o sile 7,2 stopnia, wystąpił dwa dni wcześniej, a przez wiele dni później były rejestrowane wstrząsy wtórne.

System ostrzegania o trzęsieniach ziemi, wykorzystując skończoną prędkość propagacji fal sejsmicznych, uprzedził Japończyków na około minutę przed dojściem niszczącej fali wstrząsów. Miasta, dzięki stosowaniu od lat restrykcyjnych przepisów budowlanych, zniosły wstrząsy dość dobrze. Niestety, trzęsienie ziemi wywołało potężne tsunami o wysokości momentami przekraczającej 10 m, które spustoszyło wybrzeże do 10 km w głąb lądu. Choć ostrzeżenie przed tsunami zostało wydane na kilkadziesiąt minut przed dotarciem fali, to nie wszyscy zdążyli się ewakuować. Kilka miasteczek zostało dosłownie unieścwiwionych przez żywioł, który wyrządził dużo większe szkody niż samo trzęsienie ziemi. Ostateczna liczba ofiar nie jest jeszcze (w chwili pisania tego tekstu) znana, szacuje się ją na ponad dwadzieścia tysięcy.

Trzęsienie ziemi o tak dużej skali jest od lat w okolicach Japonii spodziewane, ale przewidywania nie dotyczyły ani najbliższej przyszłości, ani tego miejsca. Podejrzana struktura znajduje na południowy wschód od Tokio. Choć na ukos pod Polską biegnie granica płyt tektonicznych, jednak na szczęście wszystko wskazuje na to, że żadne naprężenie, które mogłoby się wyzwolić w postaci silnych wstrząsów, na tej granicy się nie tworzy. Żyjemy więc w rejonie bardzo spokojnym sejsmicznie i wydaje się nam, że trzęsienia ziemi są nieprzewidywalne.

Rzeczywiście, obecnie określenie z dużym wyprzedzeniem dokładnego momentu ich wystąpienia jest niemożliwe. Jednak prawdopodobieństwo takich zdarzeń, ze wskazaniem czasu, miejsca i siły, jest szacowane coraz precyzyjniej. Siła trzęsienia ziemi zależy od wielkości struktury, która w spodziewanym wstrząsie ma się przesunąć. Trzęsienia rzędu 9 stopni w skali Richtera wiążą się zazwyczaj z powstawaniem uskoków o długości ponad tysiąca kilometrów. W przypadku trzęsienia z 11 marca raptura miała „tylko” kilkaset kilometrów długości, za to przesunięcie było bardzo duże, po kilkadziesiąt metrów w pionie i poziomie. W efekcie północna część największej wyspy Japonii, Honsiu, przesunęła się o ponad 2 metry na wschód. Przesunięcie dna oceanicznego spowodowało nie tylko niszczycielskie tsunami, ale również zmianę kierunku osi Ziemi (bieguny przesunęły się o około 20 cm) oraz skrócenie doby (o około 1,8 mikrosekundy), co oznacza, że płyty tektoniczne przesunęły się do środka Ziemi. Tsunami rozprzestrzeniło się na cały basen Oceanu Spokojnego.

Na przykład w wybrzeże Chile, po około 20 godzinach, uderzyła fala o wysokości do 2 metrów, lokalnie powodując straty materialne.

Uwaga mediów prawie natychmiast po katastrofie została przyciągnięta przez problemy elektrowni jądrowej Fukushima I. W wyniku trzęsienia ziemi zadziałały prawidłowo systemy bezpieczeństwa i wiele z kilkudziesięciu japońskich reaktorów automatycznie zostało wyłączonych.

Procedura wyłączenia polega na wsunięciu pomiędzy pręty paliwowe prętów zawierających absorber neutronów. Powoduje to zatrzymanie wymuszonej reakcji rozszczepienia. Nie znaczy to jednak, że reaktor przestaje być źródłem ciepła. W prętach dalej zachodzi deekscytacja (rozpad) wcześniej powstałych jąder radioaktywnych. Dlatego po wyłączeniu reaktor musi być dalej chłodzony przez kilka do kilkudziesięciu dni lub nawet dłużej. Trzy z sześciu reaktorów Fukushima I, które działały w chwili trzęsienia ziemi, to jedne z najstarszych w Japonii, uruchomione w latach siedemdziesiątych ubiegłego stulecia. Są to reaktory wodne wrzące (BWR) tzw. pierwszej generacji. Reaktory te są bezpieczne w tym sensie, że woda, która odbiera ciepło z reaktora, jest jednocześnie moderatorem, czyli spowalnia neutrony. Bez wody nie ma chłodzenia, ale też wymuszona reakcja rozszczepienia nie zachodzi, bo powstające w wyniku rozszczepienia neutrony są za szybkie, żeby efektywnie inicjować kolejne reakcje. Jest to zasadnicza różnica w stosunku do reaktora, który uległ awarii w Czarnobylu. Tam moderatorem był, prócz wody, również grafit, nie występowało więc opisane wyżej silne, ujemne sprzężenie zwrotne, co pozwoliło na gwałtowny, tysiąckrotny wzrost mocy reaktora, powodując przegrzanie i chemiczny wybuch.

Bezpieczne wyłączenie reaktorów wiąże się z koniecznością ich chłodzenia. Systemy chłodzenia są wielokrotnione, ale prawie wszystkie wymagają zewnętrznego zasilania. Pasywne chłodzenie jest we współcześnie budowanych reaktorach, ale nie w Fukushima. Jeden z systemów działa, wykorzystując jako napęd gorącą parę z grzejącego się reaktora, ale jego sterowanie wymaga zasilania z akumulatorów. Systemy te zatrzymały się po kilku godzinach.

Ze względu na uszkodzenia związane z trzęsieniem ziemi zewnętrzne zasilanie nie docierało do elektrowni. Automatycznie włączyły się generatory dieslowskie. Niestety, fala tsunami pokonała mur zabezpieczający o wysokości 6,5 metra i zniszczyła generatory. Później okazało się, że również zbiorniki z ropą zostały przez odchodzącą falę zabrane. W ten sposób po uderzeniu tsunami elektrownia została bez prądu. W takiej sytuacji woda podgrzewa się coraz bardziej, w konsekwencji odparowuje, odsłaniając pręty paliwowe.

Są one pokryte cyrkonem, który jest praktycznie jedynym materiałem o odpowiedniej wytrzymałości mechanicznej i termicznej, wystarczająco dobrej przewodności cieplnej i nadto niezatrzymującym neutronów. W kontakcie z parą wodną o wysokiej temperaturze i ciśnieniu cyrkon utlenia się powierzchniowo z uwolnieniem wodoru. Reaktor jest zamknięty w zbiorniku ciśnieniowym. Przy braku efektywnego chłodzenia ciśnienie w nim rośnie ze względu na powstającą parę i wydzielający się wodór. Żeby zapobiec wybuchowi wodoru, wewnątrz zbiornika tlen atmosferyczny jest zastąpiony azotem.

Szczelny zbiornik ciśnieniowy ma zawory bezpieczeństwa, przez które nadmiar gazów może zostać wypuszczony, ale jest to już poważna awaria, ponieważ gazy te zawierają pierwiastki radioaktywne. Dodatkowo wypuszczony wodór miesza się z powietrzem, a mieszanina zbiera się w budynku osłaniającym reaktor przed wpływem warunków atmosferycznych. Wybuch jest w tej sytuacji już tylko kwestią czasu.

Tak też stało się w Fukushima. Kolejne wybuchy zniszczyły cztery budynki, ale komory ciśnieniowe pozostały nienaruszone. (W reaktorze nr 2 wybuch, prawdopodobnie, nastąpił wewnątrz zbiornika ciśnieniowego, co oznacza, że zbiornik ten musiał się częściowo rozszczelnić.)

W budynku reaktora nr 4 problem wiązał się nie tyle z reaktorem, co z wykorzystanym paliwem, dezaktywującym się w otwartym zbiorniku wodnym, znajdującym się tuż obok komory ciśnieniowej nieaktywnego reaktora. Tam sytuacja rozwinęła się najpoważniej. Pręty paliwowe zostały prawie całkowicie odłonięte, co spowodowało co najmniej dwa pożary, które ugaszono. Jednak każdy pożar czy wybuch wodoru to emisja materiału promieniotwórczego.

W trakcie operacji ratowniczej przystąpiono do chłodzenia reaktorów wodą morską (bo innej nie było), również za pomocą specjalnych armatek wodnych i helikopterów. Użycie wody morskiej powoduje, że reaktory nie będą już mogły być użytkowane. Premier Japonii podjął zresztą decyzję, że cała elektrownia Fukushima I będzie wyłączona z użytkowania. Decyzja jest częściowo polityczna (dwa z sześciu reaktorów, w dodatku najnowsze i o największej mocy, być może można by było przywrócić do pracy), ale tylko częściowo.

Cały czas monitorowana jest dawka promieniowania przyjmowana przez wymieniające się ekipy ratownicze. Oczywiście, monitorowane jest również skażenie, nie tylko na terenie elektrowni, ale również w bliższej i dalszej okolicy. Dawka promieniowania, mierzona przy bramie elektrowni, wahała się około 1 milisiwerta na godzinę (1 mSv/h), podwyższała się przy każdej emisji, a następnie spadała, zwłaszcza jeżeli polewano reaktory wodą. Ludność została ewakuowana w promieniu 20 km, a w pierścieniu od 20 km do 30 km zalecono pozostawanie wewnątrz budynków.

Pręty paliwowe w trzech działających przed trzęsieniem ziemi reaktorach uległy częściowemu stopieniu na skutek niedostatecznego chłodzenia. Ryzyko całkowitego stopienia nadal istnieje. Spowodowałyby to spłynięcie materiału paliwowego do komory pod reaktorem. Nie wiązałyby się to z niebezpieczeństwem jakiegokolwiek wzmożonej reakcji rozszczepienia (bo w takim stopie nie będzie moderatora), ale spowodowałyby rozhermetyzowanie się komory reaktora i dalsze skażenia.

Podsumowując, sytuacja jest poważna, ale nadal jest to awaria o ograniczonych i w większości krótkotrwałych skutkach, nieporównywalna z katastrofą spowodowaną przez samo trzęsienie ziemi i tsunami. Gdyby takie trzęsienie ziemi wystąpiło w innym, równie gęsto zaludnionym miejscu, np. w Kalifornii, to szacunkowa liczba ofiar byłaby co najmniej rząd wielkości większa, o stratach materialnych nie wspominając.

Paradoksalnie, sytuacja po awarii w elektrowni Fukushima I pokazuje nie słabości, lecz mocne strony energetyki jądrowej. Elektrownie w Japonii pracują, ale w większości są to właśnie elektrownie jądrowe, bo one najmniej ucierpiały. Te konwencjonalne mają różne problemy logistyczne.

Reaktory w Fukushima były niemalże zostawione same sobie i nic naprawdę poważnego im samym się nie stało (po prostu się popsuly), nie spowodowały też niczego naprawdę poważnego. Głównie dlatego, że nie miały jak.

Należy pamiętać, że skażenia radioaktywne są niezwykle łatwe do wykrycia, a normy bardzo restrykcyjne. Z samego faktu, że w pewnej odległości od miejsca awarii wykryto jakieś skażenie, nie wynika, że ma ono jakiegokolwiek znaczenie dla zdrowia ludzi. Oczywiście, najbardziej niebezpieczne jest skażenie żywności. Przekroczenie norm już się obserwuje w pobliżu awarii, np. wiadomo, że skażeniu uległ szpinak.

Na dodatek, w Fukushima uległy awarii reaktory starego typu, a więc niewyposażone w szereg zabezpieczeń używanych we współczesnych reaktorach. Jednym z takich systemów jest układ automatycznej rekombinacji uwalnianego wodoru w cząsteczki wody. Systemy awaryjnego chłodzenia współczesnych reaktorów są tak projektowane, żeby mogły sobie poradzić bez zewnętrznego źródła zasilania (chłodzenie grawitacyjne) oraz aby wytrzymały atak terrorystyczny, np. przeprowadzony za pomocą uderzenia samolotu pasażerskiego. Reaktory te mają również specjalne komory przygotowane na przyjęcie stopionego materiału rdzenia, choć prawdopodobieństwo takiego zdarzenia jest w ich przypadku niezwykle małe.

Z awarii w Japonii zostaną wyciągnięte wnioski, więc margines bezpieczeństwa, już bardzo wyśrubowany, jeszcze wzrośnie.

Pomimo tego reakcja części świata jest, oczywiście, neurotyczna. Ciekawe, jak to wpłynie na polską energetykę jądrową *in spe*.

Piotr ZALEWSKI