

# BEZPIECZEŃSTWO REAKTORÓW BADAWCZYCH PO FUKUSHIMIE

Andrzej Mikulski

W Paryżu w dniach 24-25 kwietnia 2012 r. odbyło się techniczne posiedzenie specjalnej Grupy Zadaniowej utworzonej przez Agencję Energii Jądrowej OECD (*Nuclear Energy Agency*) ds. Bezpieczeństwa Reaktorów Badawczych po Zdarzeniu w Fukushima (*Post Fukushima Daiichi Safety of Research Reactors Task Group*). Na posiedzeniu rozpatrywano zagadnienia bezpieczeństwa reaktorów badawczych w krajach należących do NEA po katastrofie w elektrowni jądrowej Fukushima w 2011 r. Po tym zdarzeniu można było zaobserwować na całym świecie pilne działania urzędów dozoru jądrowego wsparte przez organizacje międzynarodowe, jak MAEA, czy UE (Grupa Robocza ENSREG) i skierowane na zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa reaktorów energetycznych w pracujących już elektrowniach jądrowych. Ten kierunek w dalszej perspektywie, nie wykluczył zajęcia się bezpieczeństwem reaktorów badawczych. Dla porównania warto zauważyć, że na świecie pracuje 229 reaktorów badawczych (jak podaje MAEA na koniec czerwca 2012 r.) w porównaniu z 435 reaktorami energetycznymi (lipiec 2012 r.).

Spotkanie zgromadziło uczestników z 8 krajów należących od NEA, tj. z Belgii, Czech, Francji, Japonii, Kanady, Norwegii, Polski (dr Krzysztof Pytel z Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku i autor tego artykułu), Stanów Zjednoczonych Ameryki, a także Federacji Rosyjskiej (jako kraju stowarzyszonego) i przedstawiciela MAEA.

Celem spotkania było omówienie podejmowanych i planowanych działań w państwach należących do NEA/OECD i wynikających z analizy katastrofy w EJ Fukushima Daiichi głównie w odniesieniu do reaktorów badawczych. Rozpatrywano również inne obiekty jądrowe, jak przechowalniki wypalonego paliwa.

W pierwszej części posiedzenia przedstawiciele poszczególnych krajów omawiali sytuację reaktorów badawczych w zakresie bezpieczeństwa w ich krajach. W każdym wystąpieniu odnoszono się do powszechnie przyjętych zagrożeń wynikających z trzech zasadni-

czych czynników, tj. trzęsienia ziemi, powodzi (w tym zalania wodą morską przez tsunami) i utraty możliwości wychłodzenia rdzenia reaktora po jego wyłączeniu co miało miejsce w Japonii. Na podstawie przedstawionych referatów (z uprzednio wymienionych krajów) można stwierdzić, że zasadniczo możliwość nagłego zalania wodą morską nie istnieje w rozpatrywanych lokalizacjach, ale trzeba się liczyć z nagłym zalaniem w wyniku obfitych opadów deszczu. Możliwość wystąpienia trzęsienia ziemi rozpatrywano tylko w Kanadzie, we Francji (dla reaktorów zlokalizowanych w centrum Cadarache) i w Rosji w kontekście zabezpieczenia się przed jego skutkami. Natomiast utrata możliwości wychłodzenia rdzenia reaktora po wyłączeniu (przerwanie reakcji łańcuchowej) była brana pod uwagę dla każdego reaktora ze względu na usuwanie tzw. ciepła wyłączeniowego generowanego z rozpadu produktów rozszczepienia uranu.

W każdym kraju podjęto działania weryfikujące stan bezpieczeństwa eksploatowanych reaktorów badawczych stosując indywidualne schematy rozpatrywanych scenariuszy zdarzeń.

Przedstawiciel MAEA wskazał na potrzebę uaktualnienia standardów bezpieczeństwa dla reaktorów badawczych sformułowanych przez Agencję, jeśli zajdzie taka potrzeba. Następnie omówił wyniki rozesłanej ankiety i przygotowania do posiedzenia nowo powołanego Komitetu Technicznego w sprawie bezpieczeństwa reaktorów badawczych po Fukushima, zaplanowanego na maj br. (niestety nikt z Polski nie brał w nim udziału). MAEA w dalszych działaniach chce skupić się zarówno na aspektach technicznych, jak i organizacyjnych w zakresie reaktorów badawczych

W Belgii analizy są prowadzone w odniesieniu reaktora BR-2 (przeznaczonego głównie do badań materiałowych i produkcji radioizotopów) zlokalizowanego w belgijskim ośrodku badań jądrowych SCK-CEN w Mol. Reaktor eksploatowany jest od wielu lat i obecnie zajęto się odpornością jego konstrukcji na zdarzenia ze-

wewnętrzne, które nie były rozpatrywane w okresie jego budowy, jak i innych reaktorów budowanych wiele lat temu na świecie. Analizy są w toku i nie były prezentowane. Drugim zadaniem dozoru jest prowadzenie analiz przed wydaniem licencji na budowę nowego reaktora MYRHHA (przeznaczonego do prowadzenia badań nad transmutacją wypalonego paliwa jądrowego).

W Kanadzie zajęto się przede wszystkim reaktorem NRU służącym do produkcji izotopów i zlokalizowanym w Laboratoriach w Chalk River. Dozór jądrowy zwrócił wówczas uwagę na potrzebę zainstalowania dodatkowych agregatów prądowców oraz na wprowadzenie dodatkowego zabezpieczenia w przypadku powodzi (reaktor zlokalizowany jest w niewielkiej odległości od przepływającej obok rzeki). Skupiono też uwagę na współzależność wielu instalacji zlokalizowanych na tym samym terenie w przypadku wystąpienia nadzwyczajnych zdarzeń atmosferycznych. Drugim reaktorem wymagającym dokładniejszej analizy jest reaktor MNR zlokalizowany na terenie kampusu uniwersyteckiego w Montrealu ze względu na potencjalne zagrożenie w sytuacji awarii LOCA, czyli utraty chłodziwa.

Na zakończenie odniesiono się do reaktorów typu SLOWPOKE zlokalizowanych w czterech miastach na terenie Kanady, ale powszechnie uważa się je za bezpieczne, gdyż ich moc cieplna nie przekracza 20 kW i po wyłączeniu schładzane mogą być na zasadzie konwekcji naturalnej.

W Republice Czeskiej pracuje reaktor badawczy LVR-15 w ośrodku Rez o mocy cieplnej 10-15 MW, którego analizę bezpieczeństwa przeprowadził jego operator wykazując pełną odporność obiektu na powódź (kilka lat temu miała ona tam miejsce o takiej intensywności jaka podobno zdarza się raz na 1000 lat) i zagrożenie sejsmiczne. Dalsze analizy będą przeprowadzone w porozumieniu z urzędem dozoru jądrowego.

Obszerne wystąpienie przedstawiciela Francji rozpoczęło się od krytyki określenia testy odpornościowe (*stress tests*). We Francji działania te określane są mianem „Dodatkowe Oceny Bezpieczeństwa” (*Complementary Safety Assessment*), które moim zdaniem wydaje się właściwsze i oddające sens prowadzonych działań. Przeglądy reaktorów badawczych dokonywane są w dwóch etapach: najważniejszych 5 reaktorów zostało poddanych przeglądom do końca grudnia 2011 r., a przeglądy dalszych 3 reaktorów zaplanowano na rok bieżący. Rozpatrywano wyżej wymienione zdarzenia inicjujące, jak: trzęsienie ziemi, powódź i inne naturalne zjawiska przyrodnicze powodujące utratę funkcji bez-

pieczeństwa na skutek braku zasilania energetycznego i ostatecznej możliwości odprowadzenia ciepła powyłaczeniowego.

Analizy te wykonywano w oparciu o podejście deterministyczne. Na początku oczekiwano informacji od operatorów, a następnie przeprowadzono inspekcje, które dla reaktorów badawczych, trwały w sumie 110 dni. Przedstawiono listę 6 najważniejszych wymagań sformułowanych w stosunku do reaktorów badawczych, a mianowicie:

- I. zabezpieczenie przeciw zagrożeniom zewnętrznym (trzęsienie ziemi, powódź),
- II. przegląd inżynierskich systemów zabezpieczeń,
- III. ponowna ocena bezpieczeństwa przechowalników wypalonego paliwa,
- IV. postępowanie awaryjne i przygotowania do niego,
- V. przegląd programów eksploatacji i wykorzystania reaktorów badawczych,
- VI. efektywność działania personelu w sytuacjach wyjątkowych.

Okazało się, że żaden z reaktorów badawczych nie wymaga natychmiastowego wyłączenia, a najistotniejsze wnioski to wymóg poprawy/wzmocnienia odporności sejsmicznej dla reaktora HFR eksploatowanego przez Institut Laue-Langevin w Grenoble i budowanego reaktora JHR (*Juliusz Horowitz Reactor*) w Cadarache oraz zwiększenia bezpieczeństwa przechowalników wypalonego paliwa. Wyniki testów z ubiegłego roku dostępne są na stronie internetowej ASN, francuskiego urzędu dozoru jądrowego.

Trzęsienie ziemi i następujące po nim tsunami w Japonii nie stanowiło zagrożenia dla reaktora badawczego zlokalizowanego najbliżej EJ Fukushima. Przeprowadzone analizy wykazały jednak, że zmierzone ruchy gruntu na skutek trzęsienia ziemi były większe niż przyjęte w analizach bezpieczeństwa dla kilku reaktorów badawczych. Poza tym analizy wykazały, że możliwe jest przejście do chłodzenia rdzenia w konwekcji (cyrkulacji) naturalnej i temperatury paliwa pozostaną w granicach dopuszczalnych. W kilku przypadkach mogą wystąpić problemy z chłodzeniem basenów z wypalonym paliwem i potrzebne jest podjęcie środków zaradczych oraz przygotowanie personelu do działania w takich sytuacjach.

Reprezentant Norwegii przedstawił analizy dla wymienionych wyżej scenariuszy i stwierdził, że dla reaktora JEEP II nie wystąpi zagrożenie wrzeniem wody chłodzącej, a czas do osuszenia (pozbawione możliwości chłodzenia wodą) elementów paliwowych w basenie prze-

chowawczym wynosi 12 dni. Dla reaktora wrzącego HBWR wykazano, że konwekcja naturalna jest wystarczająca do odprowadzenia ciepła powyłączeniowego. Natomiast paliwo w pętach badawczych może zostać odsłonięte (pozbawione możliwości chłodzenia) już po kilku minutach przy bardzo konserwatywnym podejściu w analizach i konieczne są tu zmiany konstrukcyjne w tych pętach. Również wymagane jest przeprojektowanie zbiorników wypalonego paliwa dla zapewnienia dłuższego czasu potrzebnego do odkrycia paliwa.

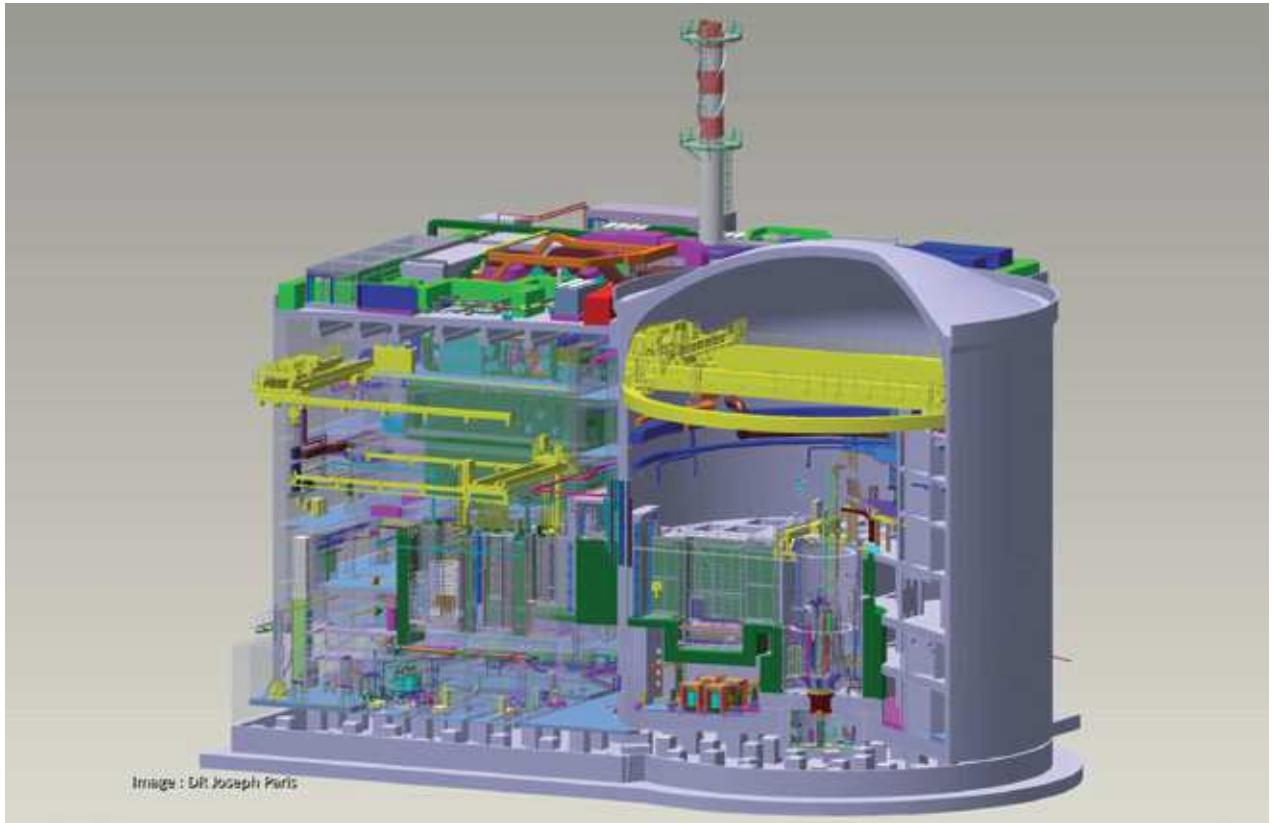
W dwóch polskich referatach dotyczących reaktora MARIA po zdarzeniu w EJ Fukushima przedstawione zostały działania podejmowane z punktu widzenia operatora (K. Pytel: Reaktor MARIA – *Post Fukushima Activity*) i urzędu dozoru jądrowego jakim jest PAA (A. Mikulski: *Activity of Nuclear Regulatory Authority Regarding Research Reactor in Poland after Fukushima NPP Accident*). W pierwszym referacie rozważano różne scenariusze dotyczące: braku zasilania zewnętrznego (*black-out*) i zalania pomieszczeń wewnętrznych na skutek nieprawdopodobnie dużych opadów deszczu lub śniegu w rejonie lokalizacji reaktora, wystąpienia bardzo silnych wiatrów i oblodzenia obudowy bezpieczeństwa, która nie była obliczona na takie sytuacje w momencie budowy na początku lat 70. ubiegłego wieku. Pod względem zapewnienia zasilania awaryjnego reaktor MARIA jest dobrze przygotowany i nie należy oczekiwać konsekwencji braku zasilania zarówno dla chłodzenia kanałów paliwowych, jak i basenu przechowawczego wypalonego paliwa. W drugim referacie opisano systemy monitorujące pracę reaktora i analizy dostarczanych informacji przeprowadzane w dozorcze dla określenia prawidłowości pracy poszczególnych urzędów, by możliwie wcześnie wykrywać pojawiające się symptomy ich nieprawidłowej pracy. Przegląd pomieszczeń w reaktorze przeprowadzony przez dozór wykazał możliwość zalania pomieszczenia awaryjnych agregatów prądotwórczych (generatory Diesla) w przypadku bardzo silnych opadów deszczu (zalecono podjęcie kroków zapobiegających zalaniu akumulatorów rozruchowych przez ustawienie ich kilkanaście centymetrów powyżej podłogi). Kontrolowano również stan techniczny baterii akumulatorów zapewniających działanie pomp wychładzających rdzeń po wyłączeniu w przypadku braku zasilania zewnętrznego i stwierdzono zgodność przewidywanego czasu pracy pomp z ustanowionymi wymaganiami w raporcie bezpieczeństwa.

Przedstawiciel Federacji Rosyjskiej rozpoczął swoje wystąpienie od przeglądu reaktorów badawczych w Rosji i stosownych regulacji prawnych. Stwierdził, że dla

większości obiektów utrata zasilania zewnętrznego nie stanowi zagrożenia ze względu na możliwość wykorzystania konwekcji naturalnej do chłodzenia elementów paliwowych. Dalej omawiał odporność konstrukcji na trzęsienia ziemi, która wymaga poprawienia dla kilku reaktorów. Wiele obiektów wymaga doposażenia w awaryjne źródła prądu, systemy wentylacji i filtracji powietrza oraz środki łączności, a także czujniki sejsmiczne połączone z automatycznym układem wyłączania reaktora.

Przedstawiciel amerykańskiego Urzędu Dozoru Jądrowego (US NRC) omówił prowadzone i planowane działania w stosunku do reaktorów badawczych i testowych (wg nomenklatury amerykańskiej RTR - *Research and Test Reactors*) w świetle zdarzenia w Japonii. Dotychczasowe działania skupiono na reaktorach energetycznych, ale sytuacja w reaktorach badawczych będzie też analizowana. Podkreślił znaczenie podejścia mówiącego o minimalnym zakresie wymagań dozоровych odnoszących się do reaktorów badawczych, gdyż opisywanie wszystkiego w przepisach i procedurach, jak to jest czynione w USA w stosunku do elektrowni jądrowych jest niewykonalne wobec różnorodności konstrukcji reaktorów badawczych. W prowadzonych w USA analizach skupiono się na zdarzeniach o małym prawdopodobieństwie, ale znaczących konsekwencjach dla otoczenia (*maximal hypothetical accident*) i w tym kontekście zauważono, że na przykład można nie uwzględniać w analizach wystąpienia tsunami na zachodnim wybrzeżu Ameryki. Wiele reaktorów ulokowanych jest w kampusach uniwersyteckich i tu trzeba na nowo oceniać zagrożenie dla otoczenia. Stwierdzono, że sprzęt awaryjny powinien być umieszczony w pewnej odległości od obiektu, aby zawsze był dostępny. Ciekawa była uwaga, że system detekcji wodoru pożądany jest w niektórych reaktorach badawczych o wyższej mocy. W referacie omówiono też zagadnienia inspekcji w reaktorach badawczych (od 2 do 5 razy na rok w zależności od mocy reaktora), wydawanie uprawnień (prowadzenie egzaminów w czasie pobytu inspektorów) oraz sposoby przekazywanie informacji o nieprzewidzianych zdarzeniach do NRC. Na koniec prelegent stwierdził, że NRC zainteresowana jest doświadczeniami z prowadzonych przeglądów w krajach NEA, by wykorzystać je do ocen prowadzonych w USA.

Przedstawiony przegląd sytuacji w reaktorach badawczych w krajach NEA wskazuje, że nie wymagane jest natychmiastowe wyłączenie żadnego reaktora, ale powinny być wprowadzone konkretne ulepszenia techniczne i organizacyjne.



**Fot. 1.** Widok modelu reaktora JHR – Francja ([www.fayat-metal.com/en/handling-equipment-jules-horowitz-reactor-cadarache-13](http://www.fayat-metal.com/en/handling-equipment-jules-horowitz-reactor-cadarache-13))

W drugiej części posiedzenia dyskutowano o zadaniach NEA w odniesieniu do reaktorów badawczych, które należy podjąć w przyszłości oraz o sposobach ich realizacji, a także prezentowania podejmowanych działań i uzyskanych wynikach.

Działania NEA powinny być prowadzone w kierunku:

- 1) zdefiniowania prawdopodobnych scenariuszy awaryjnych,
- 2) ustanowienia wymagań bezpieczeństwa, które bezwzględnie muszą być spełnione,
- 3) oszacowania ryzyka, ale raczej metodami deterministycznymi niż probabilistycznymi, oceny prawdopodobieństwa określonych zdarzeń są dla reaktorów badawczych mało wiarygodne (zbyt mała statystyka zdarzeń),
- 4) uwzględnienia danych historycznych przy ocenach zagrożeń trzęsieniami ziemi i powodzią w długich okresach czasu,
- 5) opracowania zasad prowadzenia przeglądów bezpieczeństwa (Peer Review),
- 6) podjęcia próby kategoryzacji reaktorów badawczych (będzie to bardzo trudne ze względu na różnorodność typów i projektów - prawie każdy reaktor jest inny.

W podsumowaniu spotkania stwierdzono że:

- każdy z krajów uczestniczących przeprowadził analizę sytuacji w reaktorach badawczych, ale nie jest ona zunifikowana i tylko w pewnym ograniczonym zakresie uwzględnia identyczne punkty dla wszystkich reaktorów;
- idea przeprowadzenia przeglądów bezpieczeństwa zyskała powszechną aprobatę, ale należy dokładnie i wyczerpująco określić co mają zawierać raporty z takich przeglądów;
- ustalono harmonogram dalszej pracy przewidując spotkanie robocze dotyczące kategoryzacji reaktorów i prowadzenia przeglądów (jesień bieżącego roku), a same przeglądy będą przeprowadzone z początkiem przyszłego roku, tak, by ich wyniki zaprezentować na posiedzeniu Komitetu ds. Działalności Dozorów Jądrowych (CNRA) w czerwcu 2013 r.,
- zabrakło udziału w posiedzeniu przedstawicieli z 4 krajów europejskich eksploatujących reaktory badawcze, a mianowicie Holandii, Niemiec, Rumunii i Węgier oraz Republiki Korei i zostanie wysłane do nich zaproszenie do włączenia się do dalszych prac tej Grupy Zadaniowej.

*dr inż. Andrzej Mikulski,  
radca prezesa PAA ds. energetyki jądrowej,  
Warszawa*