

Mgr inż. TADEUSZ NIEWIADOMSKI

Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie

### ZAGADNIENIA BEZPIECZEŃSTWA REAKTORÓW

Na skutek procesu rozszczepienia i silnego strumienia neutronów reaktory są potężnym źródłem promieniowania jonizującego, które jak wykazało doświadczenie działa na ogół szkodliwie na organizm ludzki. Ta ogromna ilość szkodliwych materiałów w połączeniu ze zdolnością rozwijania niespotykanych w innych urządzeniach szybkości osiągania dużych poziomów mocy oraz wysokim kosztem tego rodzaju urządzeń powoduje, że konieczne są rozważania nad zagadnieniem bezpiecznej ich eksploatacji. Zagadnienia te choćby w ogólnych zarysach powinny być znane wszystkim projektantom i użytkownikom reaktora.

W czasie normalnej pracy reaktor wysyła przede wszystkim promieniowanie gamma i neutrony, a w czasie awarii należy brać pod uwagę głównie działanie promieniowania beta i gamma. Szkodliwość wszystkich tych promieniowań polega na niszczącym działaniu na organy i narządy ciała ludzkiego (działanie to nazywamy somatycznym) oraz na uszkodzaniu komórek rozrodczych, co powoduje tzw. uszkodzenia genetyczne i zmiany w następnych pokoleniach. Dla zmniejszenia do koniecznego minimum zarówno jednego, jak i drugiego działania, już od pierwszych lat stosowania tego promieniowania (rok 1902) ustalono i korygowano według aktualnego stanu wiedzy o działaniu promieniowania tzw. Maksymalne Dopuszczalne Dawki. Nieprzekraczanie ich miało na celu uniknięcie szkodliwych następstw dla człowieka i populacji. Ostatnio obowiązujące w Polsce wartości MDD oparte są na zaleceniach organizacji międzynarodowych i mówiąc najogólniej wynoszą zawodowo przy promieniowaniu całego ciała dla osób zatrudnionych zawodowo przy promieniowaniu jonizujących 0.1 r/tydzień oraz dla innych 0.01 r/tydzień. Przewiduje się pewne wyjątki związane między innymi z awariami urządzeń jądrowych. Ponieważ promieniowanie może pochodzić nie tylko od źródeł znajdujących się poza organizmem lecz również od wchłonię-

tych i odłożonych w różnych organach, oprócz ustalenia MDD wyznaczono Maksymalne Dopuszczalne Stężenia różnych izotopów promieniotwórczych w powietrzu i w wodzie, a więc w substancjach najpowszechniej wchłanianych przez organizm ludzki. Z ogromnej liczby izotopów promieniotwórczych znajdujących się w reaktorze przy rozpatrywaniu bezpieczeństwa najbardziej interesujące są: w czasie ruchu A-41, a w czasie awarii izotopy gazów szlachetnych i jodu oraz Sr-90.

Zarówno ilość produktów rozszczepienia jak i ilość zaktywowanych materiałów zależą od mocy reaktora oraz od czasu jego pracy. W odniesieniu do produktów rozszczepienia można stwierdzić, że powstaje ich duża liczba o najróżniejszych półokresach rozpadu. Ogromna ich większość osiąga stan nasycenia po okresie 100 dni pracy reaktora, kiedy to natychmiast po wyłączeniu aktywność wynosi około  $4 \text{ Mc/MW}_{\text{term}}$  a po 24

godzinach  $1 \text{ Mc/MW}_{\text{term}}$ . Normalnie wszystkie materiały aktywne są zamknięte a promieniowanie od nich pochodzące dostatecznie osłabione otaczającą osłoną biologiczną. Jednakże należy liczyć się z ewentualnością, że materiały te mogą być wyrzuczone poza osłonę biologiczną, co jak wykazuje statystyka jest przy właściwym zaprojektowaniu i eksploatacji bardzo mało prawdopodobne, lecz ze względu na niesłychanie groźne skutki takiego wypadku należy wszelkimi dostępnymi środkami dążyć zarówno do ich uniknięcia jak i w razie zajścia do zmniejszenia jego skutków.

Do rozproszenia materiałów aktywnych może dojść przez: rozbieganie się nadkrytyczne reaktora, jego wybuch jądrowy lub nie jądrowy; przegrzanie rdzenia nawet po wyłączeniu reakcji łańcuchowej; zajście egzotermicznych reakcji chemicznych między materiałami rdzenia; wypadki z pozardzeniowymi źródłami promieniowania.

Rozbieganie (runaway) zachodzić może w czasie krótszym od 1 sek. lecz w dostatecznie długim by nie mogło być mowy o wybuchu typu bomby atomowej. Wybuch, lecz o znacznie mniejszych rozmiarach mógłby nastąpić tylko przy bardzo szybkich zmianach reaktywności takich jak wystrzeliwanie prętów lub temu podobne. Dla reaktorów na neutronach termicznych zanotowano dotychczas dwa wypadki gdzie można mówić o wybuchu. Jeden to doświadczenie na reaktorze specjalnie w tym celu zbudowanym Borax I i awaria reaktora SL 1. W obu wypadkach rozmiary awarii były stosunkowo niewielkie, bez dużych zniszczeń lecz wystarczające do rozerwania konstrukcji rdzenia i wypływu skażeń. Proporcje w składzie wy-

rzuconych przy tego rodzaju awariach skażeń są podobne do proporcji produktów rozszczepienia w rdzeniu, a najgroźniejsze są bardzo drobne fragmenty i gazy, które mogą rozprzestrzeniać się na duże odległości bez grawitacyjnego osadzania.

Jeśli wzrost mocy jest wolny i nie dojdzie do rozerwania lub jeśli nastąpi awaria systemu chłodzenia wówczas nawet po wyłączeniu reaktora może stopić się część lub cały rdzeń (melt down). Wydobędą się wówczas z elementów paliwowych przede wszystkim lotne w tych temperaturach produkty rozszczepienia takie jak gazy szlachetne lub chlorowce (izotopy jodu). Typowym przykładem tego rodzaju awarii był wypadek jednego z reaktorów w Windscale w 1957 r.

Gdy paliwo jest w postaci metalicznej, to może dojść w podwyższonych temperaturach po zajściu awarii obu wymienionych typów do różnych reakcji egotermicznych między materiałami strefy aktywnej. Moc wydzielana w tych reakcjach może przekroczyć energię wypadku je wywołującego.

Znajdujące się zwykle w instalacjach reaktorowych poza rdzeniem duże ilości materiałów aktywnych takich jak wypalone elementy, wyprodukowane izotopy promieniotwórcze również mogą ulec rozproszeniu.

Produkty rozszczepienia, które wydobyły się z rdzenia powinny zostać zatrzymane przez zbiornik ciśnieniowy lub hermetyczny budynek. Nie wszystkie jednak reaktory są umieszczane w szczelnych zamknięciach, uważa się bowiem, że dla reaktora prawidłowo zaprojektowanego i ostrożnie użytkowanego prawdopodobieństwo zajścia poważnego rozproszenia jest znikome a skutki w pewnych warunkach lokalizacyjnych do zaniedbania. Zatrzymanie rozproszonych materiałów nawet w budynku hermetycznym nie może być całkowite, gdyż ze względu na trudności uszczelnienia jak i ewentualne nadciśnienia poawaryjne musi dojść do przecieków. Mogą one zagrozić ośrodkowi lub okolicy. Zagrożenie ośrodka i okolicy zachodzi poprzez: przejście chmury radioaktywnej wysyłającej promieniowanie beta i gamma, inhalację produktów rozszczepienia przez ludzi znajdujących się w strefie zagrożonej, promieniowanie gamma osadzonych na podłożu produktów rozszczepienia, skażenia środków żywności i paszy przez osady.

Decydującą rolę dla zagrożenia ośrodka i okolicy odgrywają aktualne warunki meteorologiczne panujące w chwili awarii. Zagrożenie na ogół (dla okolicy) jest tym większe im gorsze warunki dyfuzji skażeń w atmosferze i im wolniejszy transport poziomy spowodowany wiatrem. Za najgroźniejszą

uważa się powszechnie pionową inwersję temperatury. Zagrożenie można wyrazić jako iloczyn średniej koncentracji chmury przechodzącej przez dany punkt przez czas przejścia chmury, a więc w jednostkach csek/m<sup>3</sup>. Ze wszystkich wymienionych rodzajów zagrożenia największe dawki mogą być wywołane przez inhalację produktów rozszczepienia w szczególności izotopów jodu, który w dużym procencie gromadzi się w małej tarczycy. Zagadnienie określenia MDS dla tego przypadku jest bardzo skomplikowane, a normy zagrożenia dotychczas nie ustalone. Według źródeł angielskich jako dopuszczalne "czasokoncentracje" przyjmuje się tu dla dzieci 0,013 c sek/m<sup>3</sup> izotopów jodu, a dla dorosłych 0,057 c sek/m<sup>3</sup>. Są to jednakże w porównaniu z innymi raczej ostre normy.

Środki jakimi należy przeciwdziałać ewentualnej awarii powinny być przedsięwzięte zarówno w czasie całego procesu projektowania, jak i nieskychanie rygorystycznie w czasie użytkowania reaktora. Polegają one na: wyborze odpowiedniego "bezpiecznego" typu reaktora; wyborze odpowiedniego miejsca budowy; zainstalowaniu pewnych środków technicznych, przeszkoleniu personelu obsługi, zastosowaniu właściwych środków organizacyjnych i administracyjnych; opracowaniu właściwych dokumentów bezpieczeństwa.

Pośród wielu typów reaktorów bezpiecznymi nazywamy te, które posiadają duży ujemny temperaturowy współczynnik reaktywności lub umożliwiają usuwanie z paliwa produktów rozszczepienia, pracują bez wysokich temperatur, ciśnień i mechanicznych naprężeń.

Co do miejsca budowy, to ze względu na bezpieczeństwo powinno ono znajdować się w znacznej odległości od dużych ośrodków mieszkalnych, z dala od zbiorników i cieków wody pitnej, z możliwością utworzenia odpowiednich stref bezpieczeństwa, w terenie, którego zarówno ukształtowanie, jak i warunki klimatyczne zapewniają dobre i we właściwym kierunku zachodzące rozpraszanie ewentualnych skażeń promieniotwórczych. Należy przy tym unikać miejsc, gdzie prawdopodobieństwo zajścia trzęsienia ziemi lub upadku samolotu jest duże.

Środki techniczne, które zapewniają bezpieczeństwo, to: wybór paliwa w odpowiedniej postaci chemicznej i zamknięciu unikanie niepotrzebnych nadmiarów reaktywności oraz dobór materiałów konstrukcyjnych strefy aktywnej odpornych na korozję i promieniowanie i inne reakcje chemiczne; ograniczenie szybkości dodawania reaktywności tak, by przed osiągnięciem warunków niebezpiecznych mogły skutecznie zadziałać za-

bezpieczenia, zainstalowanie aparatury kontroli, pomiarów, blokady i dozymetrii w bardzo szerokim asortymencie, która ma umożliwiać obserwację, zapis i szybkie samoczynne oddziaływanie na ważne parametry eksploatacyjne w całym zakresie mocy, i która powinna pracować według zasady "fail safe" i być połączona w system zapewniający bezpieczeństwo w sposób najbardziej ekonomiczny, bez niepotrzebnych wyłączeń reaktora, zaprojektowanie takiej osłony biologicznej, schronów na paliwo, ciągów technologicznych, które umożliwiają bezpieczną pracę z dużymi aktywnościami w czasie użytkowania, konserwacji i remontów; zainstalowanie systemu wentylacji dla utrzymania czystości powietrza na wymaganym poziomie, systemu odprowadzania i unieszkodliwiania odpadów adekwatnego do programu prac, urządzeń do szybkiego wykrywania i odnajdywania nieszczelnych elementów paliwowych, instalacji przeciwpożarowych i innych zapobiegających uszkodzeniom reaktora; wykonanie zamknięcia reaktora w sposób zapewniający lokalizację skażeń na wypadek awarii dla uniknięcia zagrożenia okolicy, co jest specjalnie ważne w przypadku konieczności zbudowania reaktora w pobliżu skupisk ludności.

Ważnym elementem bezpieczeństwa jest załoga, która powinna: posiadać wysokie kwalifikacje zdrowotne zarówno fizyczne jak i psychiczne, odznaczać się inteligencją, czujnością i dyscypliną, posiadać odpowiednie walory zawodowe i doświadczenie oraz odbyć staż odpowiadający branżom na siebie obowiązkom; być powiązana ściśle określonymi zależnościami służbowymi i posiadać sprecyzowane wyraźnie kompetencje.

W trakcie prac koncepcyjnych, projektowych i w czasie użytkowania reaktora musi działać określona machina organizacyjno-administracyjna, która pozwala na opiniowanie, konsultowanie i zatwierdzanie wszelkich projektów w szerokim gronie fachowców zorganizowanych w Komisje Bezpieczeństwa. W ramach tej procedury przedkłada się pewne dokumenty bezpieczeństwa, takie jak: raporty bezpieczeństwa, formularze naświetlań, opisy doświadczeń oraz opisy i analizy zaszłych wypadków.

Krótkie wyliczenie zagadnień związanych z bezpieczeństwem pracy reaktorów, wykazuje, że problem ten jest bardzo obszerny, i obejmuje różne dziedziny. Aczkolwiek w ostatnich latach poświęcono mu wiele pracy zarówno badawczej, jak i organizacyjnej, tym niemniej sprawa nie jest zamknięta i wymaga dalszych opracowań i doświadczeń.