

Narażenie elektrowni jądrowych na ataki terrorystyczne

dr inż. Krzysztof Rzymkowski

Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Jądrowej

Przedstawiono spodziewane scenariusze nielegalnego uzyskiwania materiałów jądrowych, zasady kontroli tych materiałów, oraz zabezpieczenia fizyczne obiektów jądrowych ze szczególnym uwzględnieniem kategoryzacji systemów ochrony fizycznej w zależności od rodzaju chronionego materiału jądrowego. Omówiono również spodziewane działania sabotażowe i przewidywane prawdopodobieństwa takich ataków.

Słowa kluczowe: materiały jądrowe, ochrona obiektów jądrowych.

Immunity of nuclear power plants to terrorist attacks

Presented are expected scenarios of nuclear materials illegal acquisition, rules concerning monitoring of these materials as well as physical protection of nuclear objects with special regard to categorization of physicprotection systems, dependently on the type of nuclear material protected. Discussed are also expected acts of sabotage and the forecast probability of such attacks.

Keywords: nuclear materials, protection of nuclear objects

NARAŻENIE ELEKTROWNI JĄDROWYCH NA ATAKI TERRORYSTYCZNE

Od czasu do czasu pojawiają się wypowiedzi o szczególnym narażeniu elektrowni jądrowych na zamachy terrorystyczne. Trudno zrozumieć dlaczego elektrownia jądrowa miałaby być wyjątkowo atrakcyjnym obiektem zamachu, ponieważ gdyby założyć, że celem takiego zamachu jest dezorganizacja sieci energetycznej kraju lub regionu to znacznie efektywniejszy byłby zamach na linie przesyłowe lub na klasyczne elektrownie węglowe, gazowe, a w szczególności wodne mało odporne na środki wybuchowe.

Zakładając, że celem zamachu na reaktor jądrowy może być chęć wywołania wybuchu jądrowego lub skażenia środowiska (w większości przypadków o zasięgu lokalnym) należy przeanalizować szereg możliwych scenariuszy takiego działania.

Spodziewane scenariusze nielegalnego uzyskania materiałów jądrowych

Ataki terrorystyczne na World Trade Center zwróciły uwagę opinii publicznej na możliwość łatwego dokonania podobnego zamachu na obiekty w których używane są materiały jądrowe.

Obiektami jądrowymi, są obiekty (budynki wraz z wyposażeniem) w których są produkowane, przetwarzane wykorzystywane, przemieszczane, przechowywane lub usuwane (np. w wyniku powstałej awarii) materiały radioaktywne. Materiałami jądrowymi nazywane są materiały, które mogą być użyte do budowy jądrowych środków wybuchowych.

Na zamachy, których celem jest bezprawne uzyskanie materiałów jądrowych narażone są przede wszystkim te obiekty, w których znajdują się materiały jądrowe atrakcyjne dla celów terrorystycznych. Zagrożenia te dotyczą przede wszystkim elektrowni jądrowych – reaktorów energetycznych, ośrodków badawczych posiadających reaktory doświadczalne, laboratoriów wykorzystujących materiały radioaktywne, zakładów produkcji paliwa, magazynów wypalonego paliwa, zakładów przerobu paliwa.

Materiały gotowe do bezpośredniego wykorzystania są najczęściej dostępne w zakładach przerobu paliwa, w zakładach produkcji zestawów paliwowych oraz w niektórych typach reaktorów badawczych.

Materiały wymagające wstępnego przygotowania są również, najczęściej dostępne w zakładach przerobu paliwa, w zakładach produkcji zestawów paliwowych oraz w reaktorach energetycznych. Należy podkreślić, że materiały do budowy broni jądrowej mogą być zbierane przez dłuższy czas i ich ubytki mogą być niezauważalne.

Materiał potrzebny do wytworzenia jądrowego urządzenia wybuchowego, przy obecnie stosowanych technologiach, musi być w postaci metalicznej. Dlatego też, aby materiał jądrowy z zestawu paliwowego wykorzystywanego w reaktorze mógł być użyty do budowy jądrowego urządzenia wybuchowego zestaw musiałby ulec rozmontowaniu i konieczny byłby czas do jego przetworzenia do wymaganej metalicznej postaci. Proces technologiczny konwersji materiału jest bardzo złożony i wymaga skomplikowanego oprzyrządowania.

Kradzież materiału jądrowego lub innych materiałów radioaktywnych nie zawsze może mieć na celu budowę broni jądrowej.

Można wyobrazić sobie scenariusz, w którym materiał jądrowy będzie użyty jako materiał silnie promieniotwórczy do skażenia wybranego terytorium poprzez np. spowodowanie eksplozji, materiału znajdującego się w rdzeniu, transportowanego oficjalnie lub kradzionego, przy pomocy konwencjonalnych środków wybuchowych .

Inny scenariusz zamachu terrorystycznego przewiduje spowodowanie katastrofy na wzór wybuchu w elektrowni jądrowej w Czarnobylu czy to przez wewnętrzny sabotaż czy też przez atak powietrzny na reaktor , magazyny (suche lub basenowe) wypalonego paliwa, zakłady produkcji lub przerobu paliwa.

Analizując zasięg i ilość przeprowadzonych zamachów wydaje się, że możliwości finansowe organizacji terrorystycznych są bardzo znaczne i istnieje realna szansa na próbę realizacji przewidywanych scenariuszy łącznie z próbą budowy własnej broni jądrowej przy wykorzystaniu wysokiej klasy specjalistów i istniejących laboratoriów. Podstawowym problemem jest zdobycie materiału jądrowego. Wykryto nawet próby nielegalnego handlu tego rodzaju materiałami jak i materiałami promieniotwórczymi. Jednym z potencjalnych, łatwiej dostępnych, źródeł materiałów jądrowych są małe kraje posiadające laboratoria lub elektrownie jądrowe. Innym potencjalnym źródłem są magazyny zdemontowanych głowic jądrowych. Przewidywane scenariusze nielegalnego uzyskania materiałów jądrowych sprowadzają się więc do:

- kradzieży materiałów jądrowych potrzebnych do budowy broni jądrowej
- kradzieży materiałów radioaktywnych
- kradzieży broni jądrowej
- sabotażu (np. atak na obiekt jądrowy)

Kontrola materiałów jądrowych

W celu zapobiegania nielegalnego zdobywania materiałów jądrowych wprowadzane są, przy współpracy międzynarodowej, systemy wykrywania nieuprawnionych działań obrotu tymi materiałami oraz systemy ochrony fizycznej obiektów jądrowych.

Pierwszą próbą wprowadzenia pełnej kontroli materiałów jądrowych było powołanie międzynarodowej organizacji, której zadaniem byłoby ułatwianie wymiany informacji naukowej, prowadzenia i rozwijania badań nad pokojowym zastosowaniem energii jądrowej oraz **opracowywanie standardów bezpieczeństwa.**

W czerwcu 1957 roku utworzono Międzynarodową Agencję Energii Atomowej z siedzibą w Wiedniu stanowiącą jedną z licznych agend ONZ.

W 1968 roku podpisano **Traktatu o Nierozprzestrzaniu Broni Jądrowej** (NPT – Non Proliferation Treaty) i powołano w ramach MAEA specjalistyczną służbę - Departament Zabezpieczeń (**Department of Safeguards**), której zasadniczym zadaniem jest kontrola wypełniania warunków traktatu NPT przez państwa sygnatariusze, polegająca na niezależnej weryfikacji deklaracji państwa o materiałach jądrowych i działaniach związanych z energią jądrową. Celem systemu zabezpieczeń jest sprawdzenie czy deklarowana działalność lub materiały nie są wykorzystywane do wytwarzania broni jądrowej. Kontrola obejmuje przede wszystkim materiały, które mogą być użyte do budowy jądrowych materiałów wybuchowych.

Prace nad układem NPT ujawniły dodatkowo inne problemy związane z możliwością niekontrolowanego dostępu, nie tylko do materiałów jądrowych koniecznych do budowy jądrowych środków wybuchowych, ale i innych materiałów radioaktywnych (np. toksycznych), które mogłyby być wykorzystywane w celach przestępczych. Szczególną uwagę zwrócono na konieczność ochrony tych materiałów przed kradzieżą lub sabotażem, oraz na konieczność ochrony samych obiektów w których znajdują się tego rodzaju materiały jak również na ochronę materiałów podczas transportu. W celu zminimalizowania potencjalnych zagrożeń opracowano zespół zaleceń ułatwiających wymianę informacji, organizację szybkiej interwencji pozwalającej na zlokalizowanie i odzyskanie skradzionego materiału radioaktywnego oraz pomocy technicznej pozwalającej na usunięcie ewentualnych skażeń radioaktywnych.

Zabezpieczenia fizyczne obiektów jądrowych

Prace nad międzynarodową konwencją o ochronie fizycznej materiałów jądrowych rozpoczęto w 1972 r. Została ona wprowadzona w życie w 1987r. Konwencja obejmuje między innymi kategoryzację materiałów jądrowych, ich transport, określa środki przeciwdziałające przemytowi i bezprawnemu handlowi materiałami jądrowymi. Od momentu jej powstania do chwili obecnej wprowadzono szereg zmian uwzględniających pojawienie się nowych technologii jak również zmian redakcyjnych. Obecnie obowiązująca redakcja dokumentu INFCIRC/225 została zatwierdzona w 1998 r. Wprowadzenie przez państwo zaleceń opisanych w dokumencie jest dobrowolne i w niczym nie narusza jego suwerenności, a nawet dokument zaleca dostosowanie ich do warunków lokalnych uwzględniających specyfikę chronionych obiektów i systemów zabezpieczeń już działających w państwie.

W grudniu 2007 do konwencji o ochronie fizycznej materiałów i obiektów jądrowych przystąpiła europejska Wspólnota Energii Atomowej. Rzeczpospolita Polska jest członkiem Wspólnoty Energii Atomowej.

Zdynamizowanie prac nad narażeniem obiektów jądrowych wywołane wrześniowym zamachem w Nowym Jorku w 2001 r. spowodowało konieczność powtórzonego przeanalizowania stanu bezpieczeństwa ośrodków jądrowych i przeprowadzenie nowych symulacji komputerowych przewidywanych awarii wywołanych atakiem terrorystycznym.

Zwrócono szczególną uwagę na:

- zabezpieczenia reaktorów energetycznych i doświadczalnych z uwzględnieniem możliwości ataku na ich wrażliwe elementy głównie zabezpieczenia fizyczne budynku reaktora, obiegów systemu chłodzenia, basenów wypalonego paliwa oraz na zabezpieczenia przed możliwością sabotażu wewnętrznego np. opanowanie sterowni reaktora.
- możliwą kradzież wypalonego lub świeżego paliwa z obiektu lub w czasie transportu.

- nieuprawnione zbieranie niewielkich ilości materiału jądrowego lub radioaktywnego w długim okresie czasu.
- możliwość bezpośredniej kradzieży broni jądrowej z baz wojskowych, łodzi podwodnych, samolotów, magazynów głowic.

Analizując różne ewentualne warianty ataku terrorystycznego zwrócono uwagę na możliwość powtórzenia zamachu wg. sprawdzonego scenariusza polegającego na spowodowaniu katastrofy lotniczej poprzez bezpośrednie uderzenie w budynek reaktora i uszkodzenie jego wrażliwych elementów.

Wyniki analiz wykazały, że (mimo iż od początku projektowania takich obiektów uwzględniano szereg czynników powodujących możliwość wystąpienia awarii jądrowej) obiekty starszego typu, budowane głównie w krajach korzystających z technologii radzieckich, oraz pierwsze dawniej, budowane reaktory energetyczne, w krajach zachodnich, których konstrukcja uległa naturalnej degradacji nie są całkowicie odporne na tego typu ataki. Wymagają one pilnej modernizacji podobnie jak i obiekty usytuowane w pobliżu lotnisk. W Stanach Zjednoczonych wprowadzono wokół reaktora obowiązkową strefę bezpieczeństwa o promieniu 10 mil.

Jeżeli zniszczenia spowodowane atakiem ograniczają się do jednej funkcji lub jednego elementu reaktora np. awaria systemu chłodzenia obiegu pierwotnego, odcięcie zasilania zewnętrznego to niewielkie działania korekcyjne znacznie zminimalizują skutki zamachu. Jednakże uszkodzenie kilku elementów komplikuje sytuację.

Zasadniczą rolę w ograniczaniu skutków ewentualnego zamachu terrorystycznego na obiekt jądrowy z reaktorem (elektrownie, ośrodki badawcze) zarówno ataku z zewnątrz jak i przypadku sabotażu wewnątrz ma konstrukcja budynku reaktora.

Nowe budynki w którym umieszczony jest rdzeń reaktora stanowią konstrukcję składającą się z podwójnych(prawie metrowych ścian) wykonanych ze zbrojonego, wzmocnionego betonu (między ścianami jest wolna przestrzeń o szerokości około 2 m ,stale monitorowana) i są dodatkowo wzmocnione kilkucentymetrową ścianą stalową. Konstrukcja tej ściany przypomina konstrukcję okrętu. Wewnątrz tego budynku w stalowej i również kilku metrowej zbrojonej betonowej obudowie umieszczony jest rdzeń. Przeprowadzone symulacje wykazały że do zniszczenia takiej konstrukcji z zewnątrz potrzebny by był znaczny wybuch jądrowy. Taka konstrukcja budynku wytrzymuje silne trzęsienia ziemi i burze huraganowe (elektrownia Three Mile Island w St. Zjednoczonych wytrzymała 6,7 w skali Richtera i wiatry huraganowe 200mil/h).

Budynek reaktora stanowi jeden z najbardziej wrażliwych elementów elektrowni jądrowej (lub ośrodka badawczego) ponieważ znajdują się w nim wszystkie istotne elementy konieczne do niezawodnej pracy systemu: systemy mechanicznego sterowania układami wygaszania reaktora, sterowania układami chłodzenia, awaryjnymi kilkustopniowymi systemami automatycznego wygaszania i chłodzenia, detektorami promieniowania, detektorami chemicznymi określającymi rodzaj i ilość uwalnianych substancji radioaktywnych i itp.

Dążąc do opracowania możliwie najlepszej konstrukcji budynku w którym umieszczano by reaktor przeprowadzono rozległe analizy dotychczasowych i przewidywanych awarii reaktorów jądrowych. Do najbardziej rozległych należą analizy przeprowadzone przez Nuclear Regulatory Commission (NRC opublikowane w dokumencie NUREG-0956 USA). Z analizy zabranych danych obejmującej 16 znanych awarii jądrowych wynika, że niezwykle groźnym skutkiem awarii jest utrata możliwości chłodzenia reaktora, brak zasilania sieciowego, pęknięcia rur systemu chłodzenia, awaria systemu chłodzenia awaryjnego, niedostępność wnętrza budynku reaktora. Mimo zebrania dużej ilości informacji o awariach i opracowaniu wielu symulacji komputerowych istnieje jeszcze bardzo dużo niewiadomych czynników nie pozwalających dokładnie przewidzieć przebieg i zasięg awarii.

W przedstawionej, w dokumencie końcowej analizie obudowie ustalono, że najgroźniejszym z punktu widzenia zdrowia człowieka jest wydzielanie się radioaktywnego jodu J-131, które może nastąpić (nawet w czasie normalnej pracy reaktora) w wyniku np. rozszczelnienia się prętów paliwowych (awaria) wchodzących w skład zestawów paliwowych. Oczywiście rozszczelnienie prętów powoduje uwolnienie również innych substancji promieniotwórczych. Pręty paliwowe stanowią zwartą szczelną konstrukcję rurek cyrkonowych w których znajduje się materiał jądrowy ulegający przemianom w trakcie pracy reaktora.

Zasadniczym elementem zapewniającym bezpieczną pracę reaktora jest odprowadzanie z jego wnętrza ciepła, powstającego w wyniku reakcji jądrowych zachodzących w rdzeniu. Brak chłodzenia może spowodować rozpuszczenie rdzenia i trudno przewidywalne reakcje z obudową betonową jak również uwolnienie ogromnej ilości gazów promieniotwórczych i toksycznych. Dlatego też oprócz systemu chłodzenia wykorzystywanego bezpośrednio do wytwarzania energii elektrycznej, w budynku reaktora umieszczone są systemy awaryjnego odprowadzania ciepła i wyłączenia reaktora.

Konstrukcja budynku reaktora powinna wytrzymywać wysoką temperaturę i wysokie ciśnienie uwolnionych gazów, aerozoli przez kilka godzin, dni a nawet tygodni, tak by można było usuwać stopniowo skutki awarii. Przewidywana jest również możliwość wieloletniego wyłączenia budynku z użytkowania przy zapewnieniu jego chłodzenia. Przykładem zwiększenia bezpieczeństwa przez zastosowanie odpowiedniej konstrukcji budynku reaktora może być porównanie awarii w elektrowni Three Mile Island w 1979 r. i awarii w elektrowni w Czarnobylu w 1979 r. Obie były wynikiem błędów operatora i wad projektu. Utrata chłodziwa w elektrowni Three Mile Island spowodowała rozpuszczenie rdzenia ale nie było pożaru i eksplozji, a budynek reaktora uniemożliwił wydostanie się substancji radioaktywnych do atmosfery. W Czarnobylu reaktor nie był umieszczony w budynku o wzmocnionej konstrukcji wybuch wodoru i moderatora grafitowego spowodował pożar i wyparowania do atmosfery znacznej części rdzenia powodując silne skażenia okolicy rozprzestrzeniając się praktycznie na cały świat. Zatem by atak terrorystyczny był skuteczny należałoby spowodować awarię urządzeń wewnątrz budynku reaktora i poważnie uszkodzić sam budynek.

Cele systemu zabezpieczeń

Podstawowym celem prowadzonych obecnie prac, jest zbudowanie takiego systemu zabezpieczeń, który poprzez długoterminowe działania kontrolne uniemożliwiłby zamachowcom zebranie wystarczającej ilości materiałów do konstrukcji jądrowych urządzeń wybuchowych oraz przeciwdziałałby innym zagrożeniom. System ochrony fizycznej powinien stanowić zespół wielu wzajemnie ściśle powiązanych elementów:

- procedur określających działanie ludzi-personelu
- sposobów użycia sprzętu
- planu rozmieszczenia zapór w przewidywanych wrażliwych miejscach obiektu itp.

Zasadniczym zadaniem systemu ochrony fizycznej jest:

- **powstrzymanie** ewentualnych zamachowców przed próbami nielegalnego uzyskania materiałów jądrowych; jest to realizowane poprzez wprowadzenie zapór fizycznych utrudniających zdobycie materiału jądrowego powodujących, że obiekt jądrowy przestaje być atrakcyjnym celem.

- **wykrywanie nieuprawnionych działań.**; polega to na wprowadzeniu kompleksowego systemu czujników, straży obiektowej, procedur dostępu do materiału jądrowego.

- **oszacowanie ewentualnego zagrożenia.** przy oszacowywaniu nieuprawnionego uwolnienia materiałów jądrowych uwzględnia się cel zamachu np. zniszczenie obiektu, użycie zdobytego materiału w innym rejonie, ewentualne skażenia i ich usuwanie.

- **wprowadzenie barier opóźniających** dostęp do materiałów jądrowych (płoty, kodowane zamki, ściany, zabezpieczenia otworów w budynkach – wentylacyjnych okiennych, dachowych.)

- **uniemożliwienie** wykorzystania przez zamachowców zdobytego materiału jądrowego. Wszystkie te elementy muszą być uwzględniane przez państwo na terenie którego znajduje się obiekt jądrowy ze szczególnym zapewnieniem współpracy różnych służb specjalnych.

Bezpieczeństwo podwyższa się poprzez:

- stałe unowocześnianie i ulepszanie krajowych systemów ochrony fizycznej (wprowadzenie wspólnych systemów alarmowych dla różnych powiązanych ze sobą służb ochronnych, standaryzacja sprzętu itp.)
- zwiększenie efektywności i sprawności kontroli materiałów jądrowych i radioaktywnych znajdujących się na terenie danego państwa
- ulepszenie i modernizowanie krajowych regulacji prawnych oraz ściślejsze ich powiązanie z systemami międzynarodowymi w szczególności w zakresie procedur powiadamiania o kradzieży czy akcie sabotażu
- wzmocnienie systemów kontroli handlu materiałami jądrowymi w celu eliminacji ich nielegalnego obrotu i przemytu

Należy podkreślić, że odpowiedzialność za bezpieczeństwo korzystania z materiałów jądrowych odpowiada państwo na którego terenie się znajdują. Podpisane traktaty nakładają określone obowiązki (np. NPT narzuca konieczność prowadzenia ewidencji materiałów jądrowych zawierającą informację o jego rodzaju, ilości i miejscu składowania), a szczegółowe rozwiązania realizujące te zobowiązania należą do państwa.

Kradzież broni jądrowej

Broń jądrową posiadają oficjalnie tylko Państwa, które są sygnatariuszami i gwarantami **Traktatu o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej**. Są to Stany Zjednoczone Ameryki, Rosja, Wlk. Brytania, Francja, CHRL. Broń jądrową posiadają również Pakistan i Indie. Do krajów tych należy pełna odpowiedzialność za zabezpieczenia przed ewentualną kradzieżą broni jądrowej i zamachami terrorystycznymi w bazach wojskowych składujących taką broń. Istnieją podejrzenia, że i inne kraje np. Koreańska Republika Ludowo-Demokratyczna dysponują niewielką ilością jądrowych środków wybuchowych.

Kradzież materiałów jądrowych i innych materiałów radioaktywnych

Najważniejszymi elementami ochrony przed kradzieżą materiałów jądrowych i innych materiałów radioaktywnych są:

- **system zabezpieczeń (Safeguard)** umożliwiający pełną kontrolę nad materiałami jądrowymi i działalnością w zakresie techniki jądrowej w państwie,
- **system ochrony fizycznej** wyposażony w nowoczesne środki alarmowe
- **regulacje prawne** umożliwiające szybka wymianę informacji między odpowiednimi ośrodkami i odpowiednią do stopnia zagrożenia reakcję.

System zabezpieczeń (Safeguard)

Kontrola materiałów jądrowych jest prowadzona w ramach międzynarodowego systemu zabezpieczeń przed rozprzestrzenianiem broni jądrowej. Podstawą traktatu NPT jest ścisła ewidencja materiałów jądrowych z uwzględnieniem ich dokładnej lokalizacji. W wyniku modyfikacji traktatu NPT obejmuje on również inne materiały radioaktywne, które mogłyby stanowić potencjalne zagrożenie. Materiały radioaktywne o niskiej aktywności i używane w nieznacznych ilościach są objęte krajowymi systemami ewidencji materiałów.

Państwa-członkowie mogą zawierać z MAEA, w ramach NPT, jedną z trzech rodzajów umów:

- o **zabezpieczeniach wszechstronnych**, obejmującą pełną kontrolę materiałów rozszczepialnych w państwie, tak aby nie zostały one przesunięte z zastosowań pokojowych do wytwarzania broni jądrowej (MAEA INFCIRC/153)
- o **zabezpieczeniach ograniczonych**, obejmującą kontrolą tylko materiały jądrowe lub działania wymienione w umowie (MAEA INFCIRC/66).
- o **zabezpieczeniach dobrowolnych**, dotyczące państw posiadających broń jądrową w czasie tworzenia systemu zabezpieczeń [Umowy Dobrowolne (Voluntary Offer Agreement - VOA)]

Najczęściej zawieraną umową z MAEA jest Umowa o zabezpieczeniach wszechstronnych.

Należy podkreślić że wszelkie zmiany dotyczące zarówno działalności państwa w zakresie wykorzystania energii jądrowej jak i wszelkich zmian dotyczących materiałów jądrowych (ich ilości, lokalizacji itp.) muszą być przez państwo raportowane przed ich zgłoszeniem do MAEA.

Zgodnie z zaleceniami wykonawczymi do NPT ilości materiałów I kategorii (Pu, U-233 wysoko wzbogacony Uran (U-235>20%)) oraz uran nisko wzbogacony są mierzone z dokładnością do 0.01 g. Taka dokładność jest istotna, ze względu na to, że jak wspomniano, materiał jądrowy może być zbierany przez dłuższy czas.

System ochrony fizycznej obiektów jądrowych

Systemy ochrony fizycznej obiektów i materiałów jądrowych w nich przechowywanych są opracowywane indywidualnie dla każdego obiektu. Za jego opracowanie wprowadzenie i poprawne funkcjonowanie odpowiedzialne są władze państwowe w ramach swojego prawa krajowego zgodnie z prawem międzynarodowym. W każdym państwie mogą obowiązywać różne rozwiązania techniczne, prawne, organizacyjne ale pomiędzy państwami powinna być wzajemna wszechstronna współpraca. Powoduje to konieczność umiędzynarodowienia problemu ochrony fizycznej, co jest szczególnie wyraźnie widoczne w sytuacji gdy efektywność systemu ochrony w jednym państwie jest uzależniona od działań innego państwa np. w sytuacji konieczności transportu materiałów jądrowych przez wspólną granicę lub przy transporcie tranzytowym. Państwo powinno zagwarantować ochronę materiałów jądrowych podczas ich międzynarodowego transportu na jego terytorium lub na pokładzie statku lub samolotu podlegającym jego jurysdykcji. System ochrony materiałów jądrowych jest połączeniem elementów administracyjnych, technicznych i różnego rodzaju zapór fizycznych. Zalecenia zawarte w dokumencie MAEA INFCIRC/255/Rew.4 zobowiązują państwa do współpracy, wzajemnych konsultacji, wymiany informacji o sposobach ochrony fizycznej, stosowanych technikach oraz o sposobach odzyskiwania utraconego materiału jądrowego

Przy opracowywaniu zaleceń dla systemu ochrony obiektów jądrowych należy uwzględnić stopień atrakcyjności formy – postaci materiału jądrowego dla potencjalnych

zamachów terrorystycznych oraz naturalne właściwości materiału uniemożliwiający sabotaż lub kradzież.

Dlatego też wymagania dotyczące fizycznej ochrony obiektów jądrowych muszą przede wszystkim uwzględniać rodzaj (kategorie) materiału jądrowego w obiektach, jego lokalizację (tzn. czy jest on aktualnie używany, magazynowany, transportowany), jak i zabezpieczenie dróg transportu materiału. System zabezpieczeń fizycznych powinien stanowić kombinację:

- **urządzeń** stanowiących rozbudowane systemy jądrowej aparatury kontrolnej, systemów obserwacji obiektu, zamykania zagrożonych lub atakowanych stref obiektu, systemów alarmowych,
- **zespołu procedur** - włączając w to organizację i obowiązki służb ochraniających obiekt, plany obiektu uwzględniające przeprowadzenie natychmiastowej akcji obronnej, obowiązkowych ćwiczeń treningowych oraz
- **działań usuwających skutki zamachu**, np. usuwanie przeszkód uniemożliwiających dotarcie do zagrożonej strefy, naprawa uszkodzeń i uruchomienie systemów kontrolnych, usuwanie skażeń radioaktywnych

Jak już wspomniano system ochrony fizycznej jest opracowywany indywidualnie dla każdego obiektu, i wymaga szczególnej dokładności dla tych obiektów, które mogą być bardziej narażone na zamachy ze względu na atrakcyjność materiału jądrowego dla celów terrorystycznych. Powinien on być również okresowo kontrolowany, modernizowany i modyfikowany w zależności od zmian kategorii chronionego materiału.

Międzynarodowy transport materiału jądrowego wymaga spełnienia wszystkich uzgodnionych procedur dotyczących zabezpieczeń fizycznych zawartych w dokumencie INFCIRC/274. Państwo eksportujące materiał jądrowy musi wydać specjalne oświadczenie o legalności pochodzenia materiału.

Państwo eksportujące odpowiada w pełni za bezpieczeństwo materiału aż do chwili przekroczenia granicy. Informacje o transporcie powinny być niejawne.

Dla celów ochrony fizycznej materiałów jądrowych wprowadzono jego kategoryzację różnicując poziom zabezpieczeń.

| Materiał | Postać | Kategoria I | Kategoria II | Kategoria III^c |
|------------------------|---|--------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. Pluton ^a | Nienapromieniowany ^b materiał jądrowy | 2kg lub więcej | Poniżej 2kg ale nie więcej niż 500g | 500g lub mniej ale nie więcej niż 15g |
| 2. Uran-235 | Nienapromieniowany ^b materiał jądrowy | 5kg lub więcej | Poniżej 5kg ale nie więcej niż 1kg | 1kg lub mniej ale nie więcej niż 15g |
| | U ²³⁵ wzbogacony 20% | | 10kg lub więcej | 10kg lub mniej ale nie więcej niż 1kg |
| | U ²³⁵ wzbogacony 10% ale mniej niż 20% | | | 10kg lub więcej |
| | U ²³⁵ wzbogacony powyżej wzbogacenia naturalnego ale mniej niż 10j | | | |
| 3. Uran - 233 | Nienapromieniowany ^b materiał jądrowy | 2kg lub więcej | Poniżej 2kg ale nie więcej niż 500g | 500g lub mniej ale nie więcej niż 15g |
| 4. Paliwo | | | Uran zubożony (tj | |

wypalone(kategoryzacja świeżego paliwa jest oparta na zaleceniach dotyczących transportu międzynarodowego. Państwo może wprowadzić własną kategoryzację materiałów magazynowanych i transportowanych uwzględniając odpowiednie czynniki) do u użytku wewnętrznego

Uran o zawartości U^{235} mniejszej niż w Uranie naturalnym) Uran Naturalny, Thor lub uran o wzbogaceniu mniejszym niż 10%^{d,e}

a - każda postać Plutonu za wyjątkiem plutonu o koncentracji izotopu Pu^{238} przewyższającej 80%

b – nienapromieniowany materiał jądrowy nie użyty lub użyty w reaktorze ale o poziomie promieniowania równym lub mniejszym niż 1Gy/h (100rad/h)

c - materiał jądrowy tej kategorii może być chroniony tak jak wszystkie inne materiały radioaktywne

d - zalecany poziom ochrony może być zmieniony przez państwo po dokonaniu analizy zagrożenia

e – Inne paliwa, które w pierwotnej postaci przed napromieniowaniem zaliczane były do kategorii I lub II mogą być przesunięte do kategorii niższej gdy poziom promieniowania przekracza 1Gy/g na nieosłonięty metr [4,5,6,9,11]

Powyższa kategoryzacja ma na celu ułatwienie wyboru obiektów wykorzystujących materiały jądrowe do szczególnej ochrony i wynika z potencjalnej atrakcyjności używanych w nich materiałów dla celów terrorystycznych.

W celu bardziej racjonalnego wykorzystania systemu zabezpieczeń fizycznych materiały jądrowe mogą być przesuwane do innych kategorii jeżeli zachodzące w nich zmiany powodują np. zmiany poziomu promieniowania, składu izotopowego, postaci (metalicznej, związku chemicznego, roztworu, mieszaniny). Różne kategorie materiałów są przechowywane w obszarach wymagające różnych stopni ochrony i nie ma potrzeby stosowania wszędzie jednakowych standardów.

Dostęp do obszarów chronionych powinien być ograniczony tylko dla wybranego i sprawdzonego personelu. Systemy ochrony powinny posiadać również mechanizmy uwzględniające ochronę materiału jądrowego w przypadku sytuacji awaryjnych np. pożarów, trzęsień ziemi, powodzi, huraganów.

Zalecenia dla systemu ochrony materiałów kategorii I

Zalecenia te odnoszą się przede wszystkim do jądrowych zakładów przemysłowych np. zakładów przerobu paliwa, zakładów produkcji zestawów paliwowych, reaktorów energetycznych.

Materiał jądrowy kategorii I, ze względu na łatwość szybkiego wykorzystania go do budowy jądrowych urządzeń wybuchowych musi podlegać szczególnej ochronie.

Dlatego też może być on tylko używany i przechowywany w specjalnie wydzielonym obszarze całego chronionego obiektu jądrowego np. w budynku, którego konstrukcja (ściany, podłogi, sufity) utrudni, ich zburzenie. Budynek powinien być również otoczony specjalnym ogrodzeniem oświetlanym w nocy. Obszar wokół budynku jak również jego pomieszczenia muszą znajdować się pod stałą obserwacją urządzeń obserwacyjno – rejestrujących kontrolowanych jednocześnie i ciągle przez dwie osoby. Podobnie powinny być obserwowane

wszystkie pomieszczenia wewnętrzne w których używane są materiały jądrowe, a nawet obszary niewykorzystywane bezpośrednio do pracy z materiałami jądrowymi np. przestrzeń między ścianami budynku reaktora. Wszystkie systemy alarmowe muszą być wyposażone w niezależne zasilanie awaryjne. Ilość wejść do chronionego obszaru musi być ograniczona do niezbędnego minimum. Zwykle jest jedno wejście i dodatkowo jedno wyjście ewakuacyjne na wypadek awarii.

Dostęp do materiałów jądrowych w wydzielonym obszarze powinien być ograniczony do szczególnie zaufanego personelu. Ekipy wizytujące, przeprowadzające konserwację, naprawy i inne osoby przebywające chwilowo na terenie tego obszaru muszą być eskortowane przez odpowiednio szkolony personel. Obowiązkowe szkolenia i ćwiczenia treningowe personelu są przeprowadzane minimum raz do roku. Wszystkie osoby na terenie strzeżonego obiektu w szczególności w obszarze wydzielonym muszą posiadać identyfikatory. W pewnych obszarach obowiązkowy jest specjalnie oznakowany ubiór ochronny. Przejście z jednej strefy do drugiej jest kontrolowane. Wejście na ten teren możliwe jest jedynie dla osób posiadających specjalną autoryzację (strefową tj do każdego fragmentu zamkniętego obszaru wymagane jest indywidualne zezwolenie). Wszelkie wejścia i wyjścia są monitorowane rejestrowane przez systemy identyfikacji osób (w bardziej zaawansowanych systemach przez komputerową identyfikację odcisków palców czy rysów twarzy) oraz kontroli wnoszonych i wnoszonych przedmiotów przy użyciu np. detektorów metali, detektorów promieniowania

W wydzielonym rejonie zamkniętym mogą być używane tylko pojazdy do niego należące bez prawa jego opuszczania. Pojazdy wjeżdżające lub opuszczające obszar chroniony muszą być każdorazowo kontrolowane.

Wszelkie przesunięcia materiału jądrowego muszą być również obserwowane i rejestrowane przez zestawy przyrządów nie tylko obserwacyjnych ale i również przez detektory promieniowania, detektory ruchu oraz operatora zapisującego poszczególne fazy prowadzonych prac. Materiał jądrowy musi być magazynowany w obszarze wydzielonym. Przy przenoszeniu materiału z jednego budynku obiektu w tym obszarze do drugiego obowiązują te same zalecenia jak przy transporcie międzynarodowym. Szczególnie chronionymi pomieszczeniami wewnątrz budynku są magazyny materiałów jądrowych do których dostęp jest dodatkowo utrudniony i kontrolowany przez patrole.

Drogi dojazdowe, zwykle ograniczone do głównej i awaryjnej, a szczególnie awaryjna z zasady rzadko używana, muszą być chronione zespołem zapór fizycznych jak i stale monitorowana.

Na terenie całego wydzielonego obszaru muszą być rozmieszczone detektory promieniowania, detektory ruchu i inne detektory uruchamiające centralny system alarmowy obiektu. Alarmy powinny być dźwiękowe i świetlne przy czym kolor oraz natężenie dźwięku powinny informować o stopniu i rodzaju zagrożenia. Ochrona obiektu jest 24 godzinna, a służba ochrony powinna być uzbrojona i przygotowana do szybkiej interwencji. Personel obiektu jest zobowiązany do ścisłej współpracy ze strażą obiektu, zgodnie z opracowanymi procedurami, których znajomość przez personel jest obowiązkowa.

Wszelka łączność pomiędzy służbami ochronnymi obiektu musi być dublowana.

Działanie całości systemu musi być kontrolowane minimum raz w roku.

Zalecenia dla systemu ochrony materiałów kategorii II

Zasadnicza różnica pomiędzy zaleceniami systemu ochrony dla kategorii I a zaleceniami dla kategorii II polega na tym, że na terenie obiektu jądrowego nie ma specjalnego wydzielonego obszaru składowania i używania materiału jądrowego kategorii II.

Materiał jądrowy kategorii II może znajdować się, być używany i przechowywany na obszarze całego chronionego obiektu jądrowego. Dostęp do obiektu powinien być ograniczony do niezbędnego minimum i tylko dla osób posiadających odpowiednie uprawnienia. Wszystkie osoby, ekipy remontowe, budowlane, przebywające chwilowo na terenie obiektu muszą być eskortowane.

Personel obiektu musi być informowany o wszelkich zmianach systemu a szkolenia o bezpieczeństwie muszą odbywać się raz do roku.

Podobnie jak w obszarze wydzielonym dla materiału kategorii I wszelkie wnoszone i wnoszone przedmioty jak również pojazdy opuszczające teren i wpuszczane na teren muszą być kontrolowane.

Za bezpieczeństwo transportu materiału wewnątrz obiektu odpowiedzialne są jego służby wewnętrzne tzn. nie jest konieczne spełnienie wszystkich międzynarodowych warunków transportu. Wymagana jest rejestracja i obserwacja oraz zabezpieczenia fizyczne uniemożliwiające jego kradzież. Transport musi być wykonywany przez odpowiednio przygotowany personel. Mogą być również stosowane elektroniczne systemy obserwacyjno – rejestrujące.

Obszar chroniony obiektu musi być otoczony ogrodzeniem obserwowanym, również w nocy. Zewnętrzne ściany budynków obiektu posiadające wzmocnioną konstrukcję można również traktować jako rodzaj ogrodzenia. Wszelkie ogrodzenia muszą być wyposażone w detektory ruchu lub inne detektory sygnalizujące włamanie i uruchamiające centralny system alarmowy.

Systemy obserwacyjne muszą pracować w sposób ciągły i być stale kontrolowane przez dwuosobowy zespół.

Zalecenia dla systemu ochrony materiałów kategorii III

Ze względu na niski poziom promieniowania i niewielką ilość materiału jądrowego zalecenia dla systemu ochrony materiałów jądrowych kategorii III są najłagodniejsze. Odnoszą się głównie do ośrodków badawczych nie posiadających reaktorów doświadczalnych. Materiały te są najmniej atrakcyjne dla celów terrorystycznych. Materiał jądrowy III kategorii może być używany i magazynowany w obszarze do którego dostęp jest ograniczony i kontrolowany. Przenoszenie materiału powinno być przeprowadzane z zachowaniem środków ostrożności wymaganych dla materiałów promieniotwórczych z uwzględnieniem ich ochrony fizycznej. Oczywiście powinna być prowadzona ewidencja materiałów oraz przygotowane procedury na wypadek kradzieży lub lokalnych skażeń terenu. Za bezpieczeństwo materiałów jądrowych kategorii III odpowiada służba ochrony obiektu.

Sabotaż

Działaniem sabotażowym jest każde świadome działanie prowadzące do kradzieży, wykorzystania, usunięcia lub rozproszenia materiałów jądrowych mogące spowodować śmierć, obrażenia ludzi lub szkody w odniesieniu do własności środowiska jak również działanie wymierzone przeciwko obiektowi jądrowemu lub jego funkcjonowaniu wywołując uwalnianie substancji radioaktywnych i powodując narażenie na promieniowanie osób lub skażenie środowiska.

Atak sabotażowy na obiekt jądrowy może spowodować przede wszystkim narażenie personelu ludności i środowiska na zagrożenie radioaktywne. Oczywiście zależy ono od rodzaju materiału jądrowego, jego ilości, a w szczególności ilości materiałów rozszczepialnych, budowy obiektu jądrowego i przewidywanych działań ochronnych.

Przy stosowanej ścisłej kontroli personelu i osób wizytujących (przede wszystkim zatrudnionych w strefie najbardziej wrażliwej) mających bezpośredni dostęp do materiałów

jądrowych, przez wielokrotne i wielostopniowe sprawdzanie tożsamości (karty mikroprocesorowe, odciski palców i dłoni, potwierdzenie przez kamery obserwacyjno – rejestrujące) wprowadzenie zamachowca z zewnątrz wydaje się mało prawdopodobne. Mimo to taki wypadek zdarzył się w Afryce Południowej w elektrowni Pelidaba, w której przechowywany był wzbogacony uran z czasów gdy próbowano zbudować broń jądrową. Zamachowcom udało się dotrzeć, najprawdopodobniej przy pomocy kogoś z personelu do sterowni elektrowni. Sytuacja została szybko opanowana, lecz wykazało to niedoskonałość zabezpieczeń tej elektrowni i potwierdziło realność podobnego zamachu. Ataki terrorystyczne w Nowym Jorku wykazały łatwość dokonania zamachu z zewnątrz. Dlatego też coraz częściej wprowadzane są zabezpieczenia uwzględniające możliwość dokonania takiego zamachu np. poprzez zniszczenie zapór fizycznych przez użycie pojazdów opancerzonych wypełnionych materiałami wybuchowymi lub podobnego ataku z powietrza ewentualnie, jak w Japonii, ataku z morza, ze względu na rozmieszczenie obiektów jądrowych na brzegu. W tym ostatnim przypadku organizowane są specjalne patrole morskie.

Według informacji pochodzących z różnorodnych źródeł nie ma obecnie wskazań, że organizacje terrorystyczne uzyskały bezpośredni dostęp do broni jądrowej lub materiałów potrzebnych do jej wykonania lub, że przygotowywane są działania w tym kierunku i istnieje specjalnie nasilenie starań uzyskania wiedzy o tego rodzaju broni.

Nielegalna budowa broni jądrowej wymaga znacznego kompleksowego przygotowania organizacyjnego i technicznego w warunkach ścisłego zachowania tajemnicy takich działań trudnych do pełnego ukrycia nawet przy obecnym niezbyt szczelnym systemie kontroli. Wydaje się, że dla organizacji terrorystycznych łatwiejszym i bardziej bezpiecznym z ich punktu widzenia jest używanie klasycznych środków wybuchowych.

Stała obserwacja różnych poczynań organizacji terrorystycznych wskazuje, na to, że ich ośrodki o bardziej konserwatywnych poglądach nie są przygotowane do nowej strategii.

Dodatkowym bardzo istotnym utrudnieniem przygotowania zamachu jądrowego jest stale poprawiająca się ochrona, nawet najbardziej zaniedbanych pod tym względem ośrodków stosujących dawne technologie radzieckie głównie w krajach byłego ZSRR, jak również w samej Rosji.

Bardzo istotnym elementem zwiększenia bezpieczeństwa jest rozszerzenie współpracy międzynarodowej. Wprowadzenie jednolitych procedur, przepisów dotyczących różnych form współpracy pomiędzy sąsiadującymi krajami, wzajemne kontrole jak i kontrole międzynarodowe np. w ramach NPT znacznie zmniejszają ryzyko utraty kontroli nad materiałem jądrowym. Szczególnym wzmocnieniem kontroli obrotu wszelkiego rodzaju materiałami promieniotwórczymi są wcześniej wspomniane nowo opracowane konwencje. Wydaje się również mało prawdopodobne by rządy krajów nawet wzajemnie wrogich udostępniały takie potężne środki jak broń jądrowa grupom nad którymi nie miałyby kontroli.

Ocena realnych szans możliwości przeprowadzenia jądrowego ataku terrorystycznego przez zorganizowane grupy przestępcze jest bardzo trudna. Jednakże takie badania symulacyjne są prowadzone i wg. prognoz ekspertów amerykańskich prawdopodobieństwo zamachu wynosi około 50 % w ciągu najbliższych 10 lat. Przeprowadzone analizy przy pomocy modeli komputerowych uwzględniających różne scenariusze w tym nawet możliwość ataku jądrowego na Manhattan w Nowym Jorku przy użyciu bomby jądrowej dały wynik znacznie mniejszy niż 29 %. Oczywiście wszelkie takie przewidywania obarczone są znacznym błędem ze względu na brak aktualnych pewnych danych dotyczących rozwoju sytuacji w niedalekiej przyszłości. Dlatego nawet przy bardzo optymistycznej ocenie wynoszącej 1% że może w ciągu najbliższych 10 lat nastąpić zamach jądrowy nie można zaniedbywać żadnych działań zabezpieczających.

Wszystkie obiekty jądrowe powinny być pod szczególnym nadzorem państw przy pełnej i szerokiej współpracy międzynarodowej. Jest to szczególnie istotne w przypadku Stanów Zjednoczonych i Rosji posiadających 95 % światowych zapasów broni jądrowej oraz więcej niż 80% światowych zapasów materiałów jądrowych gotowych do wytwarzania takiej broni. Jednym z elementów znacznie utrudniających nielegalną budowę broni jądrowej jest zalecenie by (nawet w pracach badawczych) używać nisko wzbogaconego uranu i eliminować użycie plutonu.

Działania zabezpieczające wymagają wielostronnej współpracy służb ochronnych, specjalnych i specjalistów od ochrony radiologicznej. Służby współpracujące powinny być wyposażone w odpowiednią aparaturę umożliwiającą detekcję promieniowania radioaktywnego i uruchamianie alarmu. Działanie służb powinno odbywać się zgodnie z odpowiednimi procedurami (plan organizacji działań zapobiegawczych, ochronnych, awaryjnych). Schemat i procedury działania muszą być wypracowane w skali kraju posiadającego obiekty jądrowe przy ścisłej współpracy międzynarodowej z udziałem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Wspólnym dążeniem wszystkich służb powinno być wyeliminowanie nielegalnego handlu materiałami jądrowymi.

Fizyczna ochrona obiektu powinna uniemożliwiać lub utrudniać (opóźniać) dostęp do materiału jądrowego przy użyciu wszystkich dostępnych środków. Powinny być one zbliżone do sposobów ochrony materiałów kategorii I z uwzględnieniem wszelkich warunków lokalnych.

Przy projektowaniu obiektów jądrowe uwzględnia się także wszystkie spodziewane ewentualne zjawiska naturalne, które mogły by zakłócić jego normalną pracę np.. drastyczne, nagłe podwyższenie temperatur, silne wiatry - huragany, powodzie, opady trzęsienia ziemi itp. Zapobiega ich to również, zniszczeniu obiektu w wyniku przeprowadzonego w jego pobliżu wybuchu.

Państwo powinno zapewnić bezpieczeństwo nad obszarem powietrznym w pobliżu wszelkich obiektów jądrowych.

Odrębnym, bardzo złożonym problemem jest zapewnienie bezpieczeństwa transportu materiałów jądrowych w szczególności wypalonego paliwa przewożonego z elektrowni do zakładów przerobu.

Bibliografia.

1. David Fisher ,History of the IAEA The First Forty Years
2. Bruno Pellaud, IAEA Safeguards and Challenges
3. IAEA.org/OurWorkSV/Safeguards, The Safeguards System of the International Atomic Energy Agency
- 4 .INFCIRC/225/Rew.4/ with preface of M. Elbaradei
5. IAEA Safeguards Glossary 2001
6. Rzymkowski K.Międzynarodowy System Zabezpieczeń przed rozprzestrzenianiem się broni jądrowej Safeguards PTJ 2007
7. Rzymkowski K. Zabezpieczenie materiału jądrowego przed działaniem terrorystycznym PTJ 2008
8. Nuclear Development Corporation (NDC) Japan 2000
9. Technical guidance IAEA Nuclear security Series No4.Engineering Safety Aspects of Nuclear Power Plants Against Sabotage
10. Annual Report GOV/2006/46-GC(50)/13 Nuclear Security – Measures to Protect Against Nuclear Terrorism

11. IAEA-TECDOC-967(Rev1) Guidance and Considerations for Implementation of INFCIR/225/Rev4
12. Rzymkowski K. Zabezpieczenia materiału jądowego elektrowni przed działaniem terrorystycznym. ENEX Międzynarodowe Targi Energetyki Kielce 2008
13. Pollack Gerald L Severe Accidents and Terrorist Threats AT Nuclear Reactors
www.nci.or
14. Bunn Matthew The Risk of Nuclear Terrorism-and next steps to reduce the danger. Committee on Homeland Security and Governmental Affairs UN Senate 2 April 2008
15. Behrens Carl, Holt Mark Nuclear Power Plants Vulnerability to Terrorism Attack CRS Report for Congress 4 February 2005
16. Lyman Edwin S, Leventhal Paul Radiological Sabotage at Nuclear Power Plants: moving target set Nuclear Control Institute Washington 2008