



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ  
PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI

---

Maciej JURKOWSKI

BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE

Przygotowanie administracji rządowej  
na wypadek zdarzeń radiacyjnych



53464

---

WARSZAWA

2001

S/4618



AKADEMIA OBRONY NARODOWEJ  
PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI

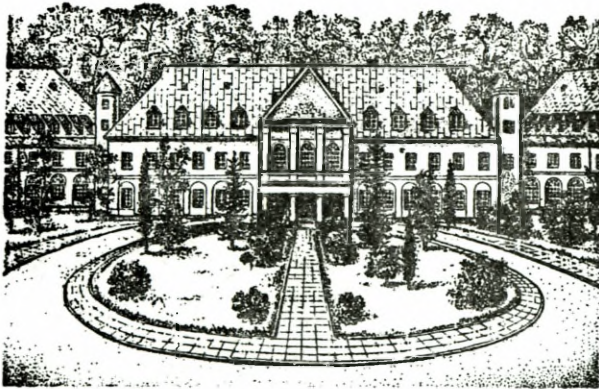
---



Maciej JURKOWSKI

**BEZPIECZEŃSTWO JĄDROWE**

Przygotowanie administracji rządowej  
na wypadek zdarzeń radiacyjnych



---

WARSZAWA

2001



Niniejszy materiał studyjny jest przeznaczony do wykorzystania na Wyższych Kursach Obronnych dla kierowniczej kadry administracji państwowej.

## SPIS TREŚCI

1. Wstęp .....	5
2. Organizacja na wypadek nadzwyczajnych zdarzeń radiacyjnych.....	10
3. Zdarzenia radiacyjne – skala i charakter zagrożenia.....	18
4. Potencjalne źródła zdarzeń radiacyjnych .....	44
5. Reaktory jądrowe jako źródła zagrożeń radiacyjnych.....	46
6. Przygotowanie Polski na wypadek zdarzeń radiacyjnych.....	57
7. Podsumowanie .....	71
Bibliografia .....	73
Spis tabel i rysunków .....	74
Załączniki:	
1. Zdarzenia radiacyjne o poważnych konsekwencjach dla zdrowia i życia pracowników i ogółu ludności (1945–1997) w przemyśle jądrowym, w innych gałęziach przemysłu, w zastosowaniach promieniowania w nauce i medycynie.....	76
2. Kryteria radiologiczne podejmowania działań we wczesnej i pośredniej fazie awarii, mających na celu ochronę ludzi przed promieniowaniem jonizującym.....	81
3. Wartości poziomów interwencyjnych oraz działania interwencyjne na wypadek zagrożenia radiacyjnego (zgodnie z projektem nowej ustawy prawo atomowe).....	82
4. Rozmieszczenie czynnych elektrowni jądrowych w Europie w 2000 roku.....	83
5. Międzynarodowa skala zdarzeń jądrowych INES.....	85

## 1. WSTĘP

Bezpieczeństwo jądrowe można zdefiniować jako stan osiągniany przez całokształt przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych, podejmowanych w celu **zapobiegania** zdarzeniom radiacyjnym, związanym z działalnością z materiałami jądrowymi, oraz **ograniczania skutków** takich zdarzeń. Przez zdarzenie radiacyjne rozumiemy sytuację związaną z zagrożeniem, wymagającą podjęcia pilnych działań w celu ochrony pracowników lub ludności przed narażeniem na promieniowanie jonizujące przekraczającym poziomy ustalony w odpowiednich przepisach. Źródłem takiego zagrożenia, poza działalnością z materiałami jądrowymi, mogą być też inne rodzaje działalności ze źródłami promieniowania jonizującego.

Materiały jądrowe zawierają nuklidy rozszczepialne, w szczególności izotopy uranu, plutonu i toru. Same te materiały jako takie w większości przypadków nie stwarzają znaczącego zagrożenia promieniowaniem, natomiast mogą być poddane reakcji rozszczepienia, w której powstaje silne promieniowanie gamma i neutronowe oraz cała gama produktów rozszczepienia o bardzo dużej aktywności, mogących spowodować bardzo duże zagrożenia radiacyjne. Reakcja rozszczepienia przede wszystkim jednak stanowi znakomite źródło energii, ponieważ pozwala uzyskać ogromną jej ilość z jednostki masy materiału jądrowego. Do wywołania reakcji rozszczepienia niezbędne jest stworzenie odpowiednich warunków technicznych oraz potrzebna jest określona minimalna w tych warunkach ilość materiału jądrowego, by osiągnąć tzw. krytyczność układu, to jest jego zdolność do zapoczątkowania i samopodtrzymywania reakcji rozszczepienia. Energia może być wyzwolona w reakcji rozszczepienia w sposób gwałtowny (wybuch jądrowy), lub też w sposób kontrolowany w czasie – w procesie ciągłym i na żądanym poziomie mocy, w reaktorze jądrowym.

Reaktor jądrowy jest skonstruowany tak aby powstające **produkty rozszczepienia** gromadzone były w tzw. **rdzeniu** reaktora, **oddzielnym od środowiska szeregiem szczelnych barier**, uniemożliwiają-

cych wydostanie się produktów rozszczepienia na zewnątrz. Reaktor musi być eksploatowany w sposób minimalizujący prawdopodobieństwo awarii naruszającej wspomniane bariery i stwarzającej ryzyko wydostania się produktów rozszczepienia do środowiska. Zawężona do obiektów jądrowych definicja bezpieczeństwa jądrowego określa je jako stan, w którym podczas normalnej eksploatacji obiektu jądrowego i przy wystąpieniu jakichkolwiek zakłóceń nie zostaną przekroczone ustalone w przepisach prawnych poziomy narażenia osób zatrudnionych w obiekcie jądrowym i innych osób na promieniowanie jonizujące. Obiektem jądrowym jest nie tylko reaktor, ale każdy obiekt lub urządzenie przeznaczone do wytwarzania, stosowania, przetwarzania, przechowywania i składowania materiału jądrowego, w ilości umożliwiającej zrealizowanie samopodtrzymującej się reakcji rozszczepienia.

Większość eksploatowanych na świecie reaktorów, czy to badawczych (w których wykorzystuje się bądź istniejące w reaktorze silne pole promieniowania, bądź też wyprowadzone z reaktora wiązki promieniowania do naświetlań materiałów tarczowych lub eksperymentów fizycznych), czy to energetycznych (służących za źródło energii cieplnej przetwarzanej w turbogeneratorach na energię elektryczną), spośród wymienionych wyżej materiałów jądrowych jako paliwo wykorzystuje **uran** o różnym stopniu wzbogacenia w rozszczepialny izotop U-235. Technologią wzbogacania uranu dysponuje na świecie zaledwie kilka państw, które rozwinęły ją przede wszystkim dla potrzeb produkcji broni jądrowej, do której wytworzenia potrzebny jest niemal czysty uran 235 (czyli uran o wzbogaceniu ponad 99%). W reaktorach badawczych stosowane wzbogacenia osiągają do kilkudziesięciu procent, natomiast w reaktorach energetycznych stosuje się paliwo o wzbogaceniu nie przekraczającym 4,5%, a zazwyczaj około 3 %. Materiał w tej postaci, o tak niskim wzbogaceniu, zupełnie nie nadaje się do zbudowania wybuchowego ładunku jądrowego (między innymi dlatego **w elektrowniach jądrowych wybuch podobny do wybuchu bomby jądrowej jest w ogóle fizycznie niemożliwy**). Natomiast w każdym reaktorze w miarę upływu czasu jego eksploatacji wytwarza się pewna stosunkowo niewielka ilość **plutonu**, który z punktu

widzenia wytwarzania wybuchowych ładunków jądrowych ma cechy bardzo wysoko wzbogaconego uranu. Pluton ten gromadzi się w rdzeniu reaktora, wewnątrz elementów paliwowych, razem z produktami rozszczepienia. Ze względu na znikomy udział plutonu w stosunku do całej pozostałej ilości nisko wzbogaconego uranowego paliwa reaktora, jego obecność w żadnym razie nie jest w stanie zmienić opisanej wyżej cechy reaktora energetycznego polegającej na fizycznej niemożności doprowadzenia w nim do wybuchu jądrowego. Natomiast sam fakt powstawania w reaktorach materiału potencjalnie przydatnego do produkcji wybuchowych ładunków jądrowych i to możliwego do odzyskania na drodze przerobu paliwa wypalonego bez stosowania stosunkowo skomplikowanej, ograniczonej w dostępności i ściśle kontrolowanej na świecie technologii wzbogacania uranu, a przy zastosowaniu prostszych i bardziej powszechnie opanowanych chemicznych metod rozdzielania pierwiastków sprawia, iż również cały cywilny przemysł jądrowy na świecie objęty został bardzo ścisłą kontrolą międzynarodową, sprawowaną przez wyspecjalizowaną agendę ONZ – Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA), w oparciu o Traktat o Nierozprzestrzenianiu Broni Jądrowej (*Non-Proliferation Treaty – NPT*) oraz odpowiednie porozumienia MAEA w sprawie tzw. zabezpieczeń (*Safeguards*), zawarte z poszczególnymi państwami prowadzącymi działalność z materiałami jądrowymi. System kontroli i rozliczeń materiałów jądrowych zapewnia bilansowanie w skali światowej materiałów zawierających izotopy rozszczepialne występujące w ilościach mających znaczenie z punktu widzenia NPT, natomiast na poszczególne państwa (strony porozumień w sprawie zabezpieczeń) nakłada obowiązek zapewnienia odpowiedniej ochrony fizycznej tych materiałów, a co za tym idzie – i obiektów jądrowych. Działania te mieszczą się w podanej na początku szerokiej definicji bezpieczeństwa jądrowego, szczególnie w sformułowaniach jej pierwszej części, gdzie mowa jest o „całokszałcie przedsięwzięć organizacyjnych i technicznych, podejmowanych w celu **zapobiegania** zdarzeniom radiacyjnym”. Bez wątpienia brak ścisłej kontroli nad materiałami jądrowymi mógłby doprowadzić do niekontrolowanego ich użycia do produkcji jądrowych ładunków wybuchowych dla celów

terrorystycznych lub militarnych poza obrębem działania światowego systemu bezpieczeństwa, a jedynie takie zastosowania stwarzają groźbę zdarzeń radiacyjnych o bardzo poważnych skutkach dla ludności na rozległym obszarze, związanych z wybuchem jądrowym. Wszelkie cywilne zastosowania materiałów jądrowych lub innych źródeł promieniowania, stwarzają nieporównanie mniejsze zagrożenia, a wyobraźalne, mogące zaistnieć w ich przypadku, zdarzenia radiacyjne, włącznie z najpoważniejszymi awariami dużych reaktorów jądrowych, prowadzić mogą co najwyżej do poważnych narażeń na promieniowanie jonizujące stosunkowo niewielkiej ilości osób na obszarze ograniczonym do bezpośredniego sąsiedztwa miejsca zdarzenia, oraz narażenia ludności wprowadzone na rozległym obszarze, ale w stopniu bardzo niewiele zwiększającym dawki otrzymane od naturalnych źródeł promieniowania (o rzędzie wielkości praktycznie mieszczącym się w zakresie okresowych wahań stale występującego w przyrodzie naturalnego tła promieniowania). Nie oznacza to by takie zdarzenia miałyby nie być traktowane z należytą powagą, z dostosowaniem sposobu i skali reagowania do rzeczywistego poziomu zaistniałego zagrożenia, tym bardziej, że zdarzenia o mniejszej skali zagrożenia występują znacznie częściej od tych, które stwarzają poważniejsze zagrożenia.

W Polsce organem administracji rządowej, odpowiedzialnym za bezpieczeństwo jądrowe w wyżej zdefiniowanym, szerokim sensie tego określenia, jest prezes Państwowej Agencji Atomistyki. Prezes PAA odpowiada za współpracę z MAEA, w tym za realizację zobowiązań Polski w zakresie zabezpieczeń (*Safeguards*) związanych z NPT, oraz za wypełnienie zobowiązań wynikających z odpowiednich konwencji i porozumień międzynarodowych – w tym w szczególności z konwencji o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej i o pomocy w przypadku awarii jądrowej lub zagrożenia radiologicznego z 1986 roku.

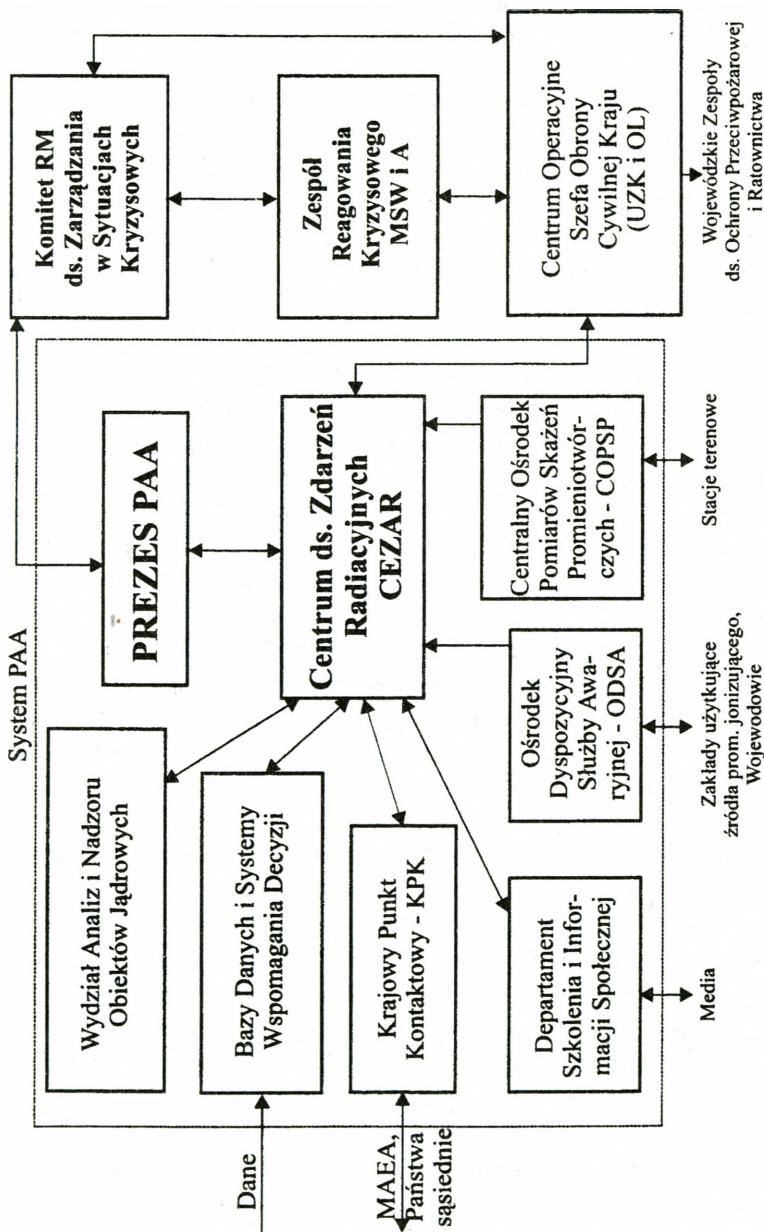
Poniżej omówiono istniejącą w Polsce organizację na wypadek nadzwyczajnych zagrożeń radiacyjnych, scharakteryzowano mogące wystąpić zdarzenia radiacyjne z uwzględnieniem skali i charakteru związanych z nimi zagrożeń na tle normalnej sytuacji radiacyjnej,

omówiono reaktory jądrowe jako źródła potencjalnych zagrożeń radiacyjnych, obecną doktrynę reagowania na poważne awarie elektrowni jądrowych oraz poszczególne elementy systemu reagowania w sytuacjach kryzysowych wywołanych zdarzeniami radiacyjnymi.

## 2. ORGANIZACJA NA WYPADEK NADZWYCZAJNYCH ZDARZEŃ RADIACYJNYCH

W każdym przypadku zaistnienia na terenie kraju sytuacji kryzysowej, spowodowanej zdarzeniem radiacyjnym, instytucją rządową o wiodącej roli w zakresie oceny sytuacji, reagowania i doradztwa jest Państwowa Agencja Atomistyki. PAA dysponuje odpowiednimi w tym celu kanałami dostępu do informacji, możliwością bezwzględnie uzyskania niezbędnych danych ze stacji monitoringu radiologicznego, systemami wspomaganie decyzji oraz ekspertami – co pozwala na prowadzenie analizy sytuacji i prognozowania jej prawdopodobnego rozwoju oraz na sformułowanie zaleceń dotyczących sposobu **reagowania** dostosowanego do skali zdarzenia oraz stopnia i zasięgu zagrożenia, aż do podjęcia w razie potrzeby odpowiednich **działań interwencyjnych** przez przygotowane do tego służby i instytucje. Prezes PAA odpowiada za organizację pomiarów skażeń promieniotwórczych w kraju, ocenę dawek, wsparcie merytoryczne gremiów wydających decyzje w sprawie podjęcia działań interwencyjnych, a także za informowanie społeczeństwa o sytuacji radiacyjnej kraju, prognozach jej rozwoju i o właściwym sposobie postępowania w razie wystąpienia zagrożenia radiacyjnego, oraz za wymianę informacji z organizacjami i władzami w kraju i za granicą, jak również ze środkami masowego przekazu.

Do realizacji wymienionych wyżej zadań prezes PAA powołał w 1997 roku **Krajowe Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych (CE-ZAR)** w strukturze Departamentu Bezpieczeństwa Jądrowego i Radiacyjnego PAA (DBJiR), stanowiące centralny węzeł gromadzenia danych, wymiany informacji i wspomaganie decyzji w sytuacjach awarii radiacyjnych **o zasięgu krajowym** (w szczególności dotyczy to również poważnych zagrożeń jądrowych/radiacyjnych na skutek awarii, która mogła mieć miejsce w sąsiednim kraju). Schemat blokowy systemu PAA na wypadek zdarzeń radiacyjnych o różnej skali, obejmujący jego elementy wewnętrzne i zewnętrzne powiązania z systemem zarządzania kryzysowego kraju pokazano na rys. 1. Najważ-



Rys. 1. Umiejscowienie Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych CEZAR w systemie PAA i powiązanie z instytucjami zewnętrznymi

niejsze elementy tego systemu (z punktu widzenia reagowania na potencjalne awarie radiacyjne i jądrowe), takie jak systemy wspomagania decyzji (SWD) wraz z niezbędnymi bazami danych i połączeniami z zewnętrznymi źródłami danych, jak również eksperci zlokalizowani są bezpośrednio w PAA. Centrum współpracuje ściśle z Departamentem Szkolenia i Informacji Społecznej odpowiedzialnym za przekazywanie społeczeństwu informacji o sytuacji radiacyjnej kraju, jej ewentualnych zmianach i ich konsekwencjach.

Przy tworzeniu tego systemu przyjęto, iż wszelkie działania w ramach **reagowania** na zdarzenia radiacyjne podejmowane są przede wszystkim w **miejscu zdarzenia** dostępnymi lokalnie siłami i środkami użytymi stosownie do rzeczywistej skali i zasięgu zagrożenia, z wykorzystaniem doradztwa i wsparcia ekspertów ochrony radiologicznej pełniących ciągły 24 godzinny dyżur w Ośrodku Dyspozycyjnym Służby Awaryjnej PAA. W przypadku zdarzeń radiacyjnych o bardziej rozległych skutkach uaktywniane jest Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych „CEZAR”, a do ewentualnych **działań interwencyjnych** włączane są w miarę potrzeby służby szczebla wojewódzkiego lub krajowego. Działania o charakterze organizacyjnym lub technicznym podejmowane w ramach **reagowania** w sytuacjach kryzysowych **na poziomie krajowym podlegają nadzorowi** Komitetu Rady Ministrów ds. Zarządzania w Sytuacjach Kryzysowych (KRMZSK). W przypadku zaistnienia takiej sytuacji instytucją rządową pełniącą rolę głównego koordynatora **działań interwencyjnych** jest Urząd Zarządzania Kryzysowego i Ochrony Ludności (UZKiOL), na którego czele stoi szef Obrony Cywilnej Kraju podlegający ministrowi spraw wewnętrznych i administracji. Zadaniem UZKiOL jest **koordynacja działań interwencyjnych** we wszelkiego rodzaju sytuacjach kryzysowych (nie tylko w przypadku zdarzeń radiacyjnych), spowodowanych awariami przemysłowymi lub klęskami żywiołowymi. Centrum Operacyjne UZKiOL obsługuje Zespół Kryzysowy ministra spraw wewnętrznych i administracji, w skład którego wchodzi szefowie głównych służb państwowych takich jak Straż Pożarna, Policja, Straż Graniczna, itp. W przypadku sytuacji kryzysowej wymagającej działań na szczeblu Rady Ministrów, to samo Centrum Operacyjne służy

podejmującemu w takich okolicznościach działanie Komitetowi Rady Ministrów ds. Zarządzania w Sytuacjach Kryzysowych, stając się wówczas **Krajowym Centrum Kryzysowym**.

Przy powyższych założeniach, w opisanych wyżej sytuacjach Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych PAA ściśle współpracuje z Centrum Operacyjnym w UZKiOL. CEZAR utrzymuje także bezpośrednią łączność z punktami kontaktowymi w innych ministerstwach i szefostwach służb państwowych uczestniczących w reagowaniu kryzysowym w sytuacjach zagrożeń radiacyjnych.

Istotą działania PAA w zakresie zagrożeń radiacyjnych jest przede wszystkim **profilaktyka**, polegająca na utrzymywaniu stałego nadzoru nad zastosowaniami materiałów jądrowych i innych źródeł promieniowania na terenie kraju oraz ciągłe, **bieżące monitorowanie** i ocena sytuacji radiacyjnej kraju, przy jednoczesnym utrzymywaniu **zdolności do otrzymania** w trybie natychmiastowym **informacji** o zaistnieniu sytuacji, czy to w kraju, czy poza jego granicami, której niepomyślny rozwój może doprowadzić do powstania zagrożenia radiacyjnego gdziekolwiek na terenie kraju.

Pierwsze z wymienionych zadań (profilaktyka) realizowane jest przez Departament Nadzoru Zastosowań Promieniowania Jonizującego PAA, a w odniesieniu do materiałów i obiektów jądrowych – odpowiednio – przez Wydział Nieprolifracji PAA oraz Wydział Analiz i Nadzoru Obiektów Jądrowych PAA, którego eksperci również śledzą na bieżąco stan bezpieczeństwa elektrowni jądrowych zlokalizowanych w pobliżu granic Polski, w tym także dokonują oceny sytuacji w przypadkach odchylenia od normalnej eksploatacji i w sytuacjach awaryjnych. Natomiast przy wykonywaniu dwóch ostatnich z wyżej wymienionych zadań kluczową rolę odgrywiają: Krajowy Punkt Kontaktowy (KPK) oraz Centralny Ośrodek Pomiarów Skażeń Promieniotwórczych (COPSP) w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR), który odpowiada za ciągłe zbieranie wyników pomiarów ze stacji wczesnego ostrzegania, jak również ze stacji prowadzących rutynowe pomiary mocy dawki promieniowania gamma oraz skażeń żywności, mleka, gleby, wody itp., należących do Ministerstwa Zdrowia oraz Ministerstwa Rolnictwa. Dane te przekazywane są

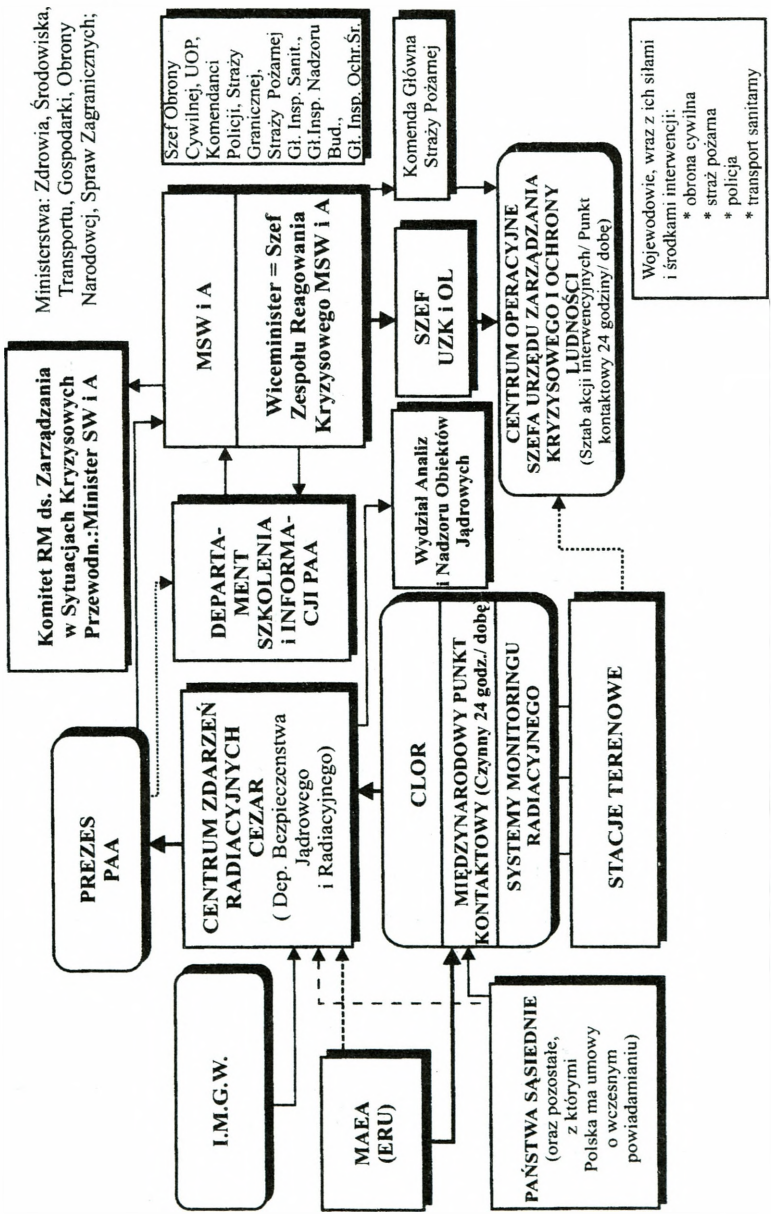
regularnie do PAA i publikowane w formie miesięcznych komunikatów, natomiast w sytuacji zagrożenia radiacyjnego wyniki pomiarów ze stacji monitoringu radiacyjnego pracujących w systemie wczesnego wykrywania są transmitowane do centrum CEZAR w trybie alarmowym (co 1-2 godziny).

Działający w systemie PAA Krajowy Punkt Kontaktowy (KPK), dyżurujący 24 godziny na dobę, zapewnia możliwość natychmiastowego przekazania zgłoszenia o zdarzeniu radiacyjnym zarówno z terenu Polski jak i z zagranicy – z Centrum Reagowania Awaryjnego Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu (*Emergency Response Centre of the International Atomic Energy Agency - ERC-IAEA*) oraz z punktów kontaktowych w krajach sąsiednich oraz tych, z którymi Polska zawarła odpowiednie porozumienia dwustronne o wczesnym powiadamianiu. Punkt ten, zlokalizowany w CLOR, wykorzystywany jest również do zawiadamiania o zdarzeniach radiacyjnych na terenie kraju o lokalnym zasięgu, i alarmowania tzw. Ośrodka Dyspozycyjnego Służby Awaryjnej – ODSA zlokalizowanego w CLOR i odpowiedzialnego za odpowiednie reagowanie na tego rodzaju lokalne zdarzenia. Treść każdego zgłoszenia przekazywane jest zgodnie z obowiązującą procedurą oficerowi awaryjnemu PAA, który w każdej chwili w razie konieczności może uaktywnić Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych CEZAR.

Dane otrzymywane dostatecznie wcześnie ze źródła rozwijającej się awarii pozwalają na uruchomienie zainstalowanych w CEZAR skomputeryzowanych systemów modelowania i analizy sytuacji oraz wspomagania decyzji, wykorzystujących zarówno bieżące informacje napływające za pośrednictwem KPK, jak i zebrane wcześniej dane dotyczące konkretnych obiektów. Pełne wykorzystanie modeli rozprzestrzeniania skażeń i obliczania przestrzennych rozkładów dawek dla ludności na danym terytorium jest możliwe dzięki otrzymywaniu w sposób systematyczny bieżących danych meteorologicznych, m.in. dzięki współpracy z IMGW, a bieżąca weryfikacja otrzymanych wyników – dzięki otrzymywaniu za pośrednictwem COPSP bieżących danych pomiarowych z systemów monitoringu radiologicznego. Po-

wiązania zewnętrzne systemu PAA ze źródłami danych i informacji oraz z systemem zarządzania kryzysowego pokazano na rys.2.

Centrum CEZAR niemal od chwili powołania uczestniczy w różnego rodzaju ćwiczeniach awaryjnych. Stanowiło ono, na przykład, ośrodek wymiany informacji i wypracowywania decyzji podczas międzynarodowych ćwiczeń serii INEX-2 organizowanych przez Agencję Energii Jądrowej OECD (NEA-OECD). W latach 1997, 1998 i 1999 Polska uczestniczyła w kolejnych ćwiczeniach INEX2-FIN, INEX2-HUN jak i INEX2-CAN. Poza dołożeniem starań, by osiągnąć cele tych ćwiczeń w wymiarze międzynarodowym, w skali kraju posłużyły one również do przetestowania praktycznego funkcjonowania kanałów łączności ze wspomnianymi wyżej ministerstwami i służbami państwowymi uczestniczącymi w systemie reagowania na zagrożenia radiacyjne. Wnioski z ćwiczeń, wskazujące m.in. na potrzebę usprawnienia dostępu do realnych danych meteorologicznych dla potrzeb symulacji rozwoju sytuacji w czasie rzeczywistym, doprowadziły do podpisania w roku ubiegłym odpowiedniej ramowej umowy pomiędzy PAA a IMGW. W tym miejscu należy podkreślić, że większość powiązań pokazanych na schematach blokowych (rys. 1 i 2) funkcjonuje na podstawie porozumień podpisanych między odpowiednimi instytucjami i organami rządowymi, a pokazane wyżej rozwiązania organizacyjne w sferze reagowania na zagrożenia radiacyjne, jakkolwiek działające skutecznie, mają jak dotąd jedynie częściowo oparcie w ustawach w sposób zgodny z obecnymi wymogami prawodawstwa. Część z nich funkcjonuje w oparciu o stare ustawy, uchwały Rady Ministrów, oraz rozporządzenia wykonawcze, które wymagają uaktualnienia. Stan prawny w tym zakresie zostanie uporządkowany w sposób właściwy z wejściem w życie nowej ustawy Prawo atomowe, której projekt został przesłany do Sejmu (po zaakceptowaniu przez Rząd) w lutym 2000 roku, oraz ustawy o gotowości cywilnej i zarządzaniu kryzysowym. Natomiast w zakresie relacji międzynarodowych, związanych z nadzwyczajnymi zagrożeniami radiacyjnymi, Polska spełnia zobowiązania wynikające z podpisanych i ratyfikowanych konwencji oraz umów międzynarodowych, z których najważniejszymi są:



Rys. 2. System PAA - powiązania zewnętrzne z systemem zarządzania kryzysowego i źródłami danych i informacji

- konwencja o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej (ratyfikowana w 1988 roku),
- konwencja o pomocy w przypadku awarii jądrowej lub zagrożenia radiologicznego (1988),
- konwencja bezpieczeństwa jądrowego (1995).

Polska ma również podpisane umowy bilateralne o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej oraz o pomocy i współpracy w dziedzinie bezpieczeństwa jądrowego i radiacyjnego z Danią (1987), Norwegią (1989), Austrią (1989), Ukrainą (1993), Białorusią (1994), Federacją Rosyjską (1995), Litwą (1995) i Słowacją (1996). Przygotowywane są odpowiednie umowy z Niemcami, Szwecją i Republiką Czeską. Za realizację zobowiązań Polski wynikających z tych konwencji oraz umów bilateralnych odpowiada prezes PAA, jako państwowy organ kompetentny w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i radiacyjnego.

### 3. ZDARZENIA RADIACYJNE – SKALA I CHARAKTER ZAGROŻENIA

Zdarzeniem radiacyjnym nazywamy wydarzenie, które zaszło na terenie kraju lub poza jego granicami, związane z materiałem jądrowym, źródłem promieniowania jonizującego, odpadem promieniotwórczym lub innymi substancjami promieniotwórczymi, powodujące zagrożenie radiacyjne, określone jako możliwość przekroczenia wartości dawek promieniowania jonizującego określonych w odnośnych przepisach. Definicja ta oznacza, że zdarzeniem radiacyjnym będzie awaria reaktora w Polsce lub w sąsiedztwie naszego kraju, ale również awaria w pracowni izotopowej czy uszkodzenie osłon w akceleratorze radioterapeutycznym, a nawet – zagubienie źródła promieniotwórczego. Ze zdarzeniami radiacyjnymi mamy więc do czynienia w sytuacjach, kiedy istnieje potencjalna możliwość wystąpienia poziomów promieniowania, zagrażających ludzkiemu zdrowiu. Sytuacje takie mają miejsce w przypadkach:

- znalezienia się w warunkach podwyższonej dawki promieniowania jonizującego (nadmiernego zbliżenia się do źródła promieniowania jonizującego, utraty osłonności źródła itp.), co powoduje narażenie zewnętrzne,
- znalezienia się w obszarze skażonym substancjami promieniotwórczymi, co poza narażeniem zewnętrznym stwarza bezpośrednie niebezpieczeństwo wchłonąć tych substancji drogą oddechową lub pokarmową do wnętrza organizmu; powoduje to narażenie wewnętrzne.

Na zagrożenia będące wynikiem zdarzeń radiacyjnych, czyli na zagrożenia radiacyjne, **narażeni są przede wszystkim pracujący zawodowo ze źródłami promieniowania** – w medycynie, przemyśle, rolnictwie i w badaniach naukowych, ponadto – pacjenci poddani badaniom lub terapii z użyciem promieniowania, **a dopiero w dalszej kolejności ogół ludności.**

W Polsce mamy ponad 2500 **zarejestrowanych** użytkowników źródeł promieniowania (zakładów państwowych i firm prywatnych), którzy w roku 1999 prowadzili 2684 różnego rodzaju działalności ze

źródłami, które wymagały przed ich podjęciem uzyskania zezwolenia prezesa Państwowej Agencji Atomistyki. Wyciąg z rejestru, uwzględniający liczby wydanych w 1999 roku zezwoleń, aneksów oraz zaświadczeń o wpisaniu do rejestru, przedstawiony został w tabeli 1. Zezwolenia na prowadzenie wszystkich tych działalności wydawane są zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 21.11.1995 roku w sprawie wydawania zezwoleń na działalność związaną z wykorzystywaniem energii atomowej. Aneksy wprowadzają zmiany warunków w dotychczasowych zezwoleniach, natomiast zaświadczenia potwierdzają dokonanie wpisu do rejestru w przypadkach, w których działalność ze źródłami promieniowania jonizującego nie wymaga zezwolenia (przypadki takie określone są w zarządzeniu prezesa PAA z 28 sierpnia 1997 r.).

W powyższym rejestrze nie są uwzględnieni użytkownicy izotopowych czujek dymu, których na koniec 1999 roku zarejestrowanych było 12990. Nie są też wykazane pracownice z aparatami rentgenowskimi o mocy wiązki do 300 keV, objętych zezwoleniami i kontrolami Państwowych Wojewódzkich Inspektorów Sanitarnych.

Wydanie zezwolenia uzależnione jest od spełnienia przez użytkownika szeregu warunków technicznych i organizacyjnych, które mają na celu możliwie maksymalne zmniejszenie dawek promieniowania otrzymywanych przez osoby zatrudnione w takich zakładach, wykluczenie powstawania skażeń powierzchni czy innych, które mogłyby spowodować narażenie wewnętrzne pracowników, wreszcie – możliwie maksymalne obniżenie prawdopodobieństwa zaistnienia nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego. Jednym z warunków uzyskania zezwolenia jest przedstawienie opisu postępowania na wypadek zaistnienia zdarzenia radiacyjnego w związku z prowadzoną działalnością objętą tym zezwoleniem – tzw. planu awaryjnego.

**JEDNOSTKI ORGANIZACYJNE PROWADZĄCE DZIAŁALNOŚĆ  
ZWIĄZANĄ Z WYKORZYSTYWANIEM ENERGII ATOMOWEJ**

Rodzaj działalności	Liczba jednostek organizacyjnych	Liczba wydanych w 1999 roku	
		zezwoleń	aneksów zaświadczeń
Aplikatory izotopowe	28	14	5
Magazynowanie źródeł i urządzeń izotopowych	35	1	0
Obrót urządzeniami izotopowymi	53	3	5
Obrót źródłami otwartymi	16	4	3
Obrót źródłami zamkniętymi	5	0	2
Prace ze źródłami w terenie	53	5	3
Pracownie źródeł otwartych kl. I	14	1	0
Pracownie źródeł otwartych kl. II	85	33	5
Pracownie źródeł otwartych kl. III	344	68	15
Pracownie źródeł zamkniętych	188	39	11
Produkcja źródeł i urządzeń izotopowych	16	13	4
Telegammatrapia	17	7	1
Transport źródeł i urządzeń izotopowych	6	4	0
Uprawiony instalator aparatury izotopowej	64	20	13
Uprawiony instalator czujek dymu	376	113	49
Użytkownik aparatów gammagraficznych	132	30	14
Użytkownik aparatury izotopowej	1063	154	40
Użytkownik chromatografu	117	0	0
Użytkownik urządzenia radiacyjnego	23	6	1
Użytkownik urządzenia wytwarzającego promieniowanie jonizujące	49	14	4
<b>Razem:</b>	<b>2684</b>	<b>529</b>	<b>175</b>
			<b>45</b>

„Możliwie maksymalne” zmniejszenie dawek promieniowania oznacza w istocie ich optymalizację, to jest takie wykonywanie danej działalności, by dawki były „tak niskie, jak to może być osiągalne w sposób rozsądny”, a więc z uwzględnieniem nakładów poniesionych na ich obniżenie (nazywa się to zasadą *ALARA = as low, as reasonably achievable*), przy czym musi być zachowany warunek, aby w żadnym razie narażenie pracowników nie przekraczało obowiązującego limitu dawki równoważnej 100 mSv w ciągu 5 lat (średnio 20 mSv/rok – ale dopuszcza się wyjątkowo 50 mSv w jednym roku i wówczas pozostałe 50 mSv – to sumaryczna dawka w ciągu kolejnych czterech lat). Narażenie osób postronnych nie może przekroczyć limitu 1 mSv/rok **ponad** naturalne tło promieniowania, które powoduje średnio u przeciętnego mieszkańca Polski dawkę równoważną ok. 3 mSv/rok.

Co oznaczają przytoczone powyżej liczby z punktu widzenia skutków biologicznych otrzymania takich dawek? By odpowiedzieć na to pytanie konieczne jest przybliżenie podstawowych pojęć stosowanych w ochronie radiologicznej, w tym pojęcia dawki, oraz wskazanie jakim przedziałom dawek odpowiadają określone skutki, a także stosowane poziomy interwencji.

Najogólniej skutek oddziaływania promieniowania z materią zależy od ilości energii promieniowania przekazanej materii. Energia promieniowania pochłonięta przez jednostkową masę materii nazywa się **dawką pochłoniętą**. Jej jednostką jest grej –  $1\text{Gy} = 1\text{ dzul/kg} = 1000\text{ mGy}$ .

Dla biologicznych skutków oddziaływania promieniowania na człowieka nie jest obojętny rodzaj i jakość promieniowania. Różne rodzaje promieniowania, przekazując tę samą energię na jednostkę masy tkanki lub narządu mogą wywołać różne skutki biologiczne. Skutki dla całego organizmu zależą także od wrażliwości narządu lub tkanki poddanej działaniu promieniowania. W związku z tym operuje się pojęciami **dawki równoważnej** (w odniesieniu do poszczególnych tkanek lub narządów), oraz dawki skutecznej (efektywnej w odniesieniu do całego organizmu).

**Dawka równoważna** jest to dawka pochłonięta w tkance lub narządzie, z uwzględnieniem rodzaju i jakości promieniowania. Dawki równoważne różnych rodzajów promieniowania w określonym narządzie mogą być liczbowo dodawane. Jednostką dawki równoważnej jest Sievert –  $1\text{ Sv} = 1\text{ dżul/kg} = 1000\text{ mSv}$ .

**Dawka skuteczna** (zwana również **efektywną**, ang. *effective dose*) jest to suma dawek równoważnych we wszystkich narządach organizmu człowieka, ważonych przez względną wrażliwość narządów z punktu widzenia prawdopodobieństwa zmian stochastycznych; jej jednostką jest również siwert. Służy do oceny narażenia radiacyjnego w przypadku nierównomiernego napromieniowania organizmu człowieka. Teoretycznie ryzyko dla określonej wartości liczbowej dawki skutecznej odpowiada ryzyku jednorodnego napromieniowania całego ciała równoważną dawką o tej samej wartości liczbowej. Dawka skuteczna uwzględnia wrażliwość poszczególnych narządów człowieka i jednocześnie względną skuteczność różnych rodzajów promieniowania; jest ona lepiej skorelowana z prawdopodobieństwem stochastycznych (losowych) następstw promieniowania (patrz niżej) w obszarze względnie małych dawek, mniejszych od 200 mSv niż średnia wartość dawki pochłoniętej. Dawka skuteczna dobrze charakteryzuje narażenie związane z nierównomiernym napromieniowaniem organizmu człowieka z zewnątrz przez przenikliwe rodzaje promieniowania (promieniowanie X, gamma, neutrony, a dla skóry także cząstki beta), a także narażenie wynikające z pochłaniania energii cząstek i kwantów emitowanych przez nuklidy promieniotwórcze, które przeniknęły do wnętrza organizmu.

Dawkę skuteczną, skumulowaną w ciągu wielu lat życia, nazywa się **dawką obciążającą**.

Relacja dawka-skutek uwarunkowana jest opisany niżej mechanizmem oddziaływania promieniowania jonizującego na organizm człowieka.

Wszelkie następstwa zdrowotne promieniowania jonizującego związane są z uszkodzeniami cząsteczek DNA w komórkach żywych organizmów. Nawet pojedyncza cząstka lub foton promieniowania może spowodować uszkodzenie cząsteczki DNA. Z tego punktu wi-

dzenia, na poziomie molekuł, nie ma takiego niskiego poziomu promieniowania, poniżej którego zjawisko takie nie mogłoby mieć miejsca. Jednak wywołanie jakichkolwiek skutków zdrowotnych w odniesieniu do całych tkanek lub organów w przypadku słabego promieniowania jest bardzo mało prawdopodobne, gdyż uszkodzenie ograniczonej liczby pojedynczych komórek nie ma praktycznego znaczenia dla zdrowia całego organizmu. Jedynie zabicie dużej ilości komórek w danym organie lub tkance może stwarzać zagrożenie dla całego organizmu. Dlatego w praktyce istnieje poziom promieniowania, powyżej którego obserwowane są wyraźne skutki zdrowotne. Poniżej tego poziomu zabijanie komórek przez promieniowanie nie wywołuje obserwowalnych skutków zdrowotnych. W związku z tym wszelkie następstwa zdrowotne promieniowania dzieli się na dwie grupy: **deterministyczne i stochastyczne**.

**Następstwa deterministyczne** to zjawiska chorobowe będące wynikiem zniszczenia przez promieniowanie dużej części komórek narządu lub tkanki; tak dużej, że zdolności wyrównawcze ustroju nie są w stanie skompensować spowodowanych strat komórek. Narząd nie jest więc w stanie dalej normalnie funkcjonować lub się rozwijać. Prowadzi to do łatwo zauważanej i rozpoznawanej choroby, w której wywołaniu, poza ubytkiem tkanki (np. martwica) i zakłóceniem jej funkcji, istotne znaczenie mają towarzyszące odczyny zapalne i ewentualne procesy naprawy (gojenie, powstawanie blizny, zwłóknienia narządów etc.). Bardzo duże dawki promieniowania mogą prowadzić do powstawania zmian chorobowych, które nie ulegają samistnemu wyleczeniu lub nie mogą być skutecznie wyleczone i stąd mogą prowadzić do śmierci. Następstwa takie są na ogół łatwe do szybkiego rozpoznania, mają charakterystyczne objawy kliniczne, ale **obserwuje się je przede wszystkim po dużych, jednorazowych dawkach**. Mogą one mieć postać uogólnionej choroby po ekspozycji (poddaniu działaniu promieniowania) całego ciała (ostra choroba popromienna) lub miejscowych uszkodzeń narządu lub okolicy ciała po ekspozycji lokalnej (np. zapalenie, martwica skóry, narządów wewnętrznych, zaćma oczna, przejściowa lub stała utrata płodności, itp.) Typową zależność skutku od dawki charakteryzuje **występowanie**

**dawki progowej**, poniżej której określona choroba nie występuje, a także **nasilanie się objawów ze wzrostem dawki promieniowania** powyżej wartości progowej. Dawka progowa dla następstw deterministycznych jest stosunkowo wysoka, przekraczająca wartość jednego Sieverta ( $>1000$  mSv) na całe ciało, lub wartości jeszcze wielokrotnie większe przy napromieniowaniu części ciała. Jeśli dawka promieniowania X, gamma lub beta nie jest otrzymana jednorazowo, a jest rozłożona w czasie, to wartość dawki progowej może być wielokrotnie wyższa. Innymi słowy wartości dawek progowych dla następstw deterministycznych zależą od mocy dawki (dawki w jednostce czasu). Z wydłużeniem się czasu ekspozycji dawki progowe ulegają wielokrotnemu zwiększeniu w porównaniu z wartościami jakie obserwuje się po krótkotrwałym napromieniowaniu jednorazowym. Należy wspomnieć, że do następstw deterministycznych zalicza się również zaburzenia rozwojowe (wady rozwojowe) po napromieniowaniu zarodka i płodu: w tym przypadku dawki progowe są jednak mniejsze, rzędu od 100 do 1000 mSv.

W załączniku 1 zestawiono zdarzenia radiacyjne o poważnych konsekwencjach dla zdrowia i życia pracowników i ogółu ludności (1945-1997) w przemyśle jądrowym, w innych gałęziach przemysłu oraz w zastosowaniach promieniowania w nauce i medycynie. Zestawienie obejmuje osoby, które otrzymały dawki co najmniej 250 mSv na całe ciało, lub na organy wytwarzające krwinki lub na inne organy krytyczne; albo co najmniej 6000 mGy ( $\geq 6$  Gy) lokalnie na skórę lub co najmniej 750 mGy ( $\geq 0.75$  Gy) na inne tkanki lub organy – od źródła zewnętrznego, albo przekroczyły połowę rocznego limitu wniknięcia (*annual limit on intake – ALI*) dla narażeń wewnętrznych. Podana w ostatniej kolumnie tabeli ilość zgonów spowodowanych otrzymanymi dawkami w poszczególnych przypadkach ilustruje w jak poważnym stopniu zagrożone jest zdrowie i życie w tych przedziałach dawek. Uważna analiza danych w tabeli pozwala stwierdzić, że zdarzenia w przeważającej większości dotyczyły niewielkiej ilości osób, które znalazły się w bezpośredniej bliskości źródła promieniowania. Warto podkreślić, że na przykład po awarii czarnobylskiej nie zaobserwowano następstw deterministycznych od opadu promieniotwórczych.

czego wśród ludności, poza kilku przypadkami choroby tarczycy u najciężej narażonych dzieci. Wg danych MAEA z 1998 roku, podanych w załączniku 1 dawki w przedziale od 1000 do 16000 mGy otrzymały 134 osoby spośród personelu i ekip ratowniczych z których w krótkim czasie zmarło wskutek promieniowania 26 osób.

W planowaniu działań interwencyjnych, w szczególności takich, jak ewakuacja, czy ukrycie w schronach celem jest ochrona pracowników i ludności przede wszystkim przed deterministycznymi skutkami promieniowania, a więc **dawkami rzędu 1 Sv (1000 milisiwertów) i więcej**. W przypadku następstw **deterministycznych** występuje bezpośrednia, oczywista relacja **dawka-skutek**.

**Następstwa stochastyczne** to takie, których wywołanie przez promieniowanie można wyrazić jedynie jako określone prawdopodobieństwo, a których ciężkość przebiegu **nie zależy** od wielkości dawki. Jedynie samo prawdopodobieństwo wystąpienia następstw zależy od wielkości dawki. Ich powstawanie zależy od wywołania początkowych zmian (mutacji) w genomie pojedynczej komórki, która ulega odpowiedniej modyfikacji, ale zachowuje zdolność dalszych podziałów komórkowych. Może prowadzić to w efekcie do powstawania kolejnych komórek z tym samym defektem. W wyniku takiego procesu może dojść do powstania nowotworów po wielu latach od czasu ekspozycji (po napromieniowaniu licznych narządów, acz nie wszystkich), a także do zmian dziedzicznych po napromieniowaniu gonad w wieku płodności. Istnieją dane wskazujące na to, że występowanie progu dawki dla powstania tych następstw jest mało prawdopodobne i należy się liczyć z tym, że nawet małe dawki, acz z niewielkim prawdopodobieństwem, mogą prowadzić do wzrostu częstości występowania obu wymienionych następstw. Moc dawki ma jedynie niewielki wpływ na ryzyko wystąpienia następstw stochastycznych. Całkowite ryzyko zależy od dawki obciążającej, jednak indywidualne ryzyko jest relatywnie bardzo małe nawet po dużych dawkach. Jeśli jednak znaczna część populacji zostanie poddana działaniu promieniowania, liczbowo wyrażone ryzyko następstw stochastycznych może być także odpowiednio znaczne, choćby dawki otrzymane przez poszczególne osoby były bardzo niewielkie. Przy ocenie ryzyka wy-

stąpienia następstw stochastycznych istotną rolę odgrywa sumaryczna dawka otrzymana przez daną populację wyrażona w osobosiwertach (*mansievert*). W ochronie populacji przed następstwami stochastycznymi jako kryterium ochrony (dawkę graniczną) w przeliczeniu na statystyczną osobę z populacji przyjęto roczną dawkę równoważną **1mSv (jeden milisiwert)** od *sztucznych źródeł promieniowania*. Obejmuje ona narażenie wskutek skażeń promieniotwórczych środowiska, osób zamieszkałych lub przebywających w ogólnie dostępnym otoczeniu sztucznych źródeł promieniowania, z wyłączeniem narażenia wywołanego **promieniowaniem naturalnym** lub **postępowaniem medycznym**. Zgodnie z obecnie obowiązującymi przepisami z 1988 roku dopuszcza się zwiększenie tej dawki do wartości 5 mSv rocznie pod warunkiem, że wieloletnia wartość średnia nie przekroczy 1mSv. W przypadku następstw stochastycznych relacja dawka-skutek nie występuje, można jedynie mówić o **relacji dawka-prawdopodobieństwo** skutku, rosnące w miarę wzrostu dawki.

Na przykład, według niektórych ocen, ryzyko wystąpienia w danej populacji zejść śmiertelnych na raka wywołanych opadem promieniotwórczym wynosi w przypadku napromieniowania długotrwałego (chronicznego) 5% na osobę-siwert dawki na populację, a w przypadku napromieniowania krótkotrwałego (czyli większą dawką w przeliczeniu na określony, taki sam przedział czasu) – 10% na osobę-siwert dawki na populację. I nie wynika z tego wcale, że większość, spośród zwykle bardzo nielicznych w danej populacji przypadków raka, które przypisuje się wcześniejszemu narażeniu na promieniowanie, jest wywołana akurat tymi właśnie stosunkowo większymi dawkami. Równie dobrze, w każdym z pojedynczych indywidualnych przypadków, przyczyną może być narażenie właśnie dawkami niższymi, gdyż w przypadku następstw stochastycznych na skutek, jako taki, wielkość dawki nie ma wpływu, skutek może jedynie zaistnieć lub nie. Podane wartości wyrażają zresztą ryzyko uśrednione na całą populację, bez różnicy wieku i płci. W przypadku dzieci wartości te byłyby odpowiednio wyższe.

To, że obowiązujący średnioroczny limit 1 mSv na osobę dla ludności nie obejmuje dawek od promieniowania naturalnego i stosowa-

nego w medycynie, nie zmienia faktu, że na statystyczną osobę z populacji oddziałują, bez absolutnie żadnej różnicy z punktu widzenia następstw stochastycznych, łącznie wszystkie trzy wymienione wyżej składowe promieniowania, przy czym absolutnie nie jest możliwe wykazanie, że jakiś indywidualny przypadek zachorowania na raka był efektem uszkodzenia w przeszłości komórki przez promieniowanie pochodzące akurat od źródeł sztucznych a nie od istniejącego przecież wtedy także, cały czas oddziałującego na człowieka promieniowania naturalnego, albo, że nie był spowodowany dawką porównywalnej wielkości otrzymaną podczas na przykład odbytego w tym czasie prześwietlenia rentgenowskiego, albo wreszcie – że nie był wywołany w ogóle czynnikiem kancerogennym innym niż promieniowanie.

Szacuje się, że w krajach rozwiniętych gospodarczo choroby nowotworowe wywołane różnymi czynnikami będą przyczyną śmierci ok. 20% populacji. Jeśli nawet wystąpią dodatkowe przypadki śmierci na raka spowodowane narażeniem na promieniowanie jonizujące, związanym ze skażeniami promieniotwórczymi, to i tak te dodatkowe przypadki będą nieodróżnialne od dużego „tła” zachorowań wywołanych przyczynami innymi niż promieniowanie. Niemniej jednak, w skali populacji te dodatkowe przypadki spowodowane promieniowaniem muszą być brane pod uwagę przy planowaniu działań interwencyjnych na wypadek zdarzeń radiacyjnych powodujących rozległe skażenia (dużych awarii w obiektach jądrowych). Opad promieniotwórczy wywołany uwolnieniem do otoczenia produktów rozszczepienia może zawierać znaczną ilość promieniotwórczego jodu. Jod taki, dostawszy się do organizmu drogą oddechową lub pokarmową, szybko przenika do krwiobiegu i kumuluje się w tarczycy. W ten sposób tarczyca może być narażona na o wiele większe dawki promieniowania, niż jakkolwiek inny organ. Może to prowadzić do późniejszego wystąpienia raka tarczycy, albo, w przypadku bardzo wysokich dawek – do zaburzeń jej funkcjonowania (choroby tarczycy). Zaobserwowane skutki awarii w Czarnobylu wskazują na znaczne, realne ryzyko wystąpienia raka tarczycy u dzieci, które wówczas uległy napromieniowaniu, natomiast brak jest wyraźnego potwierdzenia, że

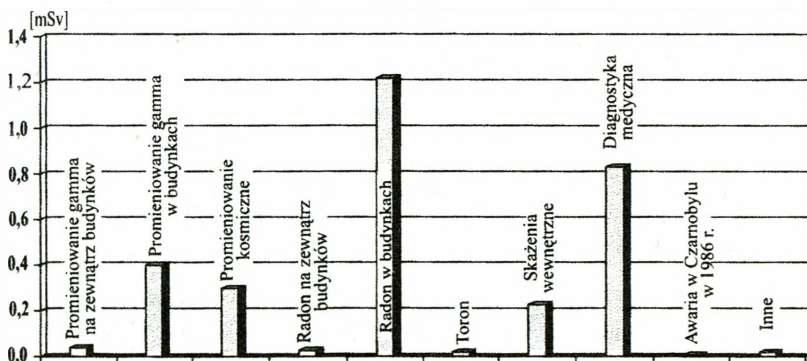
ryzyko takie istnieje w odniesieniu do dorosłych. Dla osób, które w chwili awarii miały powyżej 40 lat ryzyko takie prawdopodobnie w ogóle nie występuje. Jak dotąd stwierdzono około 1000 przypadków zachorowań na raka tarczycy dzieci w wieku do 15 lat na Białorusi, w północnej części Ukrainy i zachodniej części Rosji. Większość tych dzieci otrzymało dawki na tarczycę nie przekraczające 0,3 Gy (< 300 mGy). Zachorowania stwierdzono w promieniu do 500 km od miejsca awarii. Zarejestrowano już ok. 10 zgonów wśród tych dzieci. Przytoczone fakty zarejestrowanych następstw stochastycznych wskazują jak ważne jest odpowiednie ich uwzględnienie w planowaniu działań interwencyjnych.

W działaniach tych podstawowym celem jest uchronienie pojedynczych osób **przede wszystkim** przed ryzykiem narażenia powodującego skutki deterministyczne. W stosunku do dawek rzędu 1 Sv (1000 mSv) wywołujących takie skutki stosuje się przy ustalaniu wartości odpowiednich poziomów interwencyjnych pewien zapas bezpieczeństwa. Przyjmuje się, że interwencja jest uzasadniona od poziomu dawek ok. 200 mSv (w załączniku 2 zestawiono kryteria radiologiczne – przedziały wartości poziomów interwencyjnych zalecanych w tzw. podstawowych normach ochrony przed promieniowaniem MAEA oraz w przepisach Unii Europejskiej dla wczesnej i pośredniej fazy awarii, w załączniku 3 podano wartości poziomów interwencyjnych przyjętych w projekcie nowej ustawy prawo atomowe). Natomiast dodatkowo, zgodnie z zasadą ALARA chroni się także pracowników i ludność z punktu widzenia następstw stochastycznych, starając się w sposób rozsądny ograniczyć dawki także w przedziale poniżej poziomów interwencyjnych w dół aż do wartości rzędu od kilku do kilkudziesięciu milisiwertów, czyli w praktyce zbliżonych do poziomu tła naturalnego.

Ocenia się, że roczny **efektywny równoważnik dawki** promieniowania jonizującego otrzymywany przez statystycznego mieszkańca Polski łącznie *od naturalnych i sztucznych źródeł promieniowania jonizującego oraz od źródeł promieniowania stosowanych w procedurach medycznych* w 1999 r. wyniósł (podobnie jak w roku 1998) ok. 3,30 mSv (udział w tym różnych źródeł promieniowania przedsta-

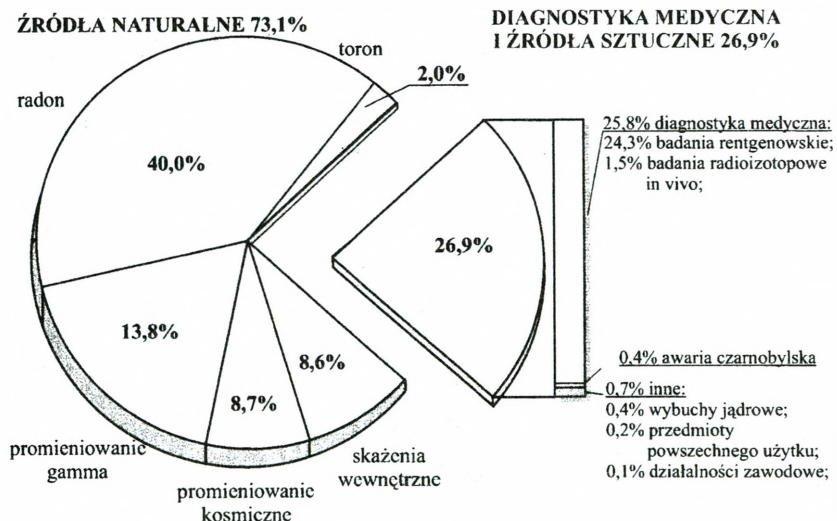
wiąją rys. 3 i rys. 4). Wartość tą oszacowano uwzględniając m.in. dane zawarte w opublikowanym w 1998 r. opracowaniu Instytutu Medycyny Pracy dotyczącym narażenia radiacyjnego pacjentów i całej populacji w Polsce w latach 1986-1995, powodowanego diagnostyką rentgenowską (rtg). Przedstawione na rys. 3 i rys. 4 dane wskazują, że w Polsce, podobnie jak w wielu krajach europejskich, zasadnicza część narażenia radiacyjnego ludności, stanowiąca ponad **2/3 całkowitego narażenia, pochodzi od źródeł naturalnych** i wynosi ok. **2,4 mSv** rocznie, a więc ponad dwukrotnie więcej od limitu 1 mSv obowiązującego dla sztucznych. Największy wkład w tym narażeniu ma radon i produkty jego rozpadu, które powodują roczny efektywny równoważnik dawki szacowany na ok. 1,3 mSv. Z pozostałych źródeł **promieniowania naturalnego** obejmujących:

- ziemskie promieniowanie gamma (emitowane przez naturalne radionuklidy zawarte w skorupie ziemskiej) i promieniowanie kosmiczne,



Rys. 3. Średnie roczne efektywne równoważniki dawki otrzymane w 1999 r. przez statystycznego mieszkańca Polski od różnych źródeł promieniowania jonizującego (3,30 mSv)

- promieniowanie emitowane przez naturalne radionuklidy obecne w organizmie każdego człowieka (głównie izotop potasu K-40), oznaczone na diagramach jako skażenia wewnętrzne, największy wkład, szacowany na ok. 0,45 mSv rocznie, wnosi promieniowanie ziemskie.



Rys. 4. Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniorocznym efektywnym równoważniku dawki otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski w 1999 r.

Narażenie statystycznego mieszkańca Polski w 1999 roku od źródeł promieniowania stosowanych w **diagnostyce medycznej** obejmującej badania rentgenowskie oraz badania *in vivo* (tj. podawanie pacjentom preparatów promieniotwórczych) szacuje się na około 0,85 mSv. Dominujący udział w tym narażeniu ma diagnostyka rentgenowska, od której – wg danych wspomnianego raportu IMP – statystyczny mieszkaniec naszego kraju otrzymuje efektywny równoważnik dawki wynoszący ok. 0,8 mSv rocznie. Wartość ta nie odbiega

znacząco od analogicznych wskaźników rejestrowanych w końcu lat 80 w wielu krajach europejskich (m.in. w Danii, Norwegii, Szwecji i Hiszpanii). Ponadto na podstawie tego raportu można stwierdzić, że:

- badania klatki piersiowej, wśród których ponad połowa przypada na zdjęcia małoobrazkowe, stanowią ok. 45% wszystkich diagnostycznych badań rtg i mają decydujący wpływ na narażenie medyczne populacji;

- średni efektywny równoważnik dawki przypadającej na jedno badanie wynosi 1,2 mSv, a dla najczęściej wykonywanych badań wartości te kształtują się następująco:

- zdjęcia klatki piersiowej – 0,11 mSv,
- małoobrazkowe zdjęcia klatki piersiowej – 0,8 mSv,
- zdjęcia kręgosłupa i prześwietlenia płuc odpowiednio od

3 mSv do 4,3 mSv;

- zakres zmienności ww. wartości w odniesieniu do pojedynczych badań osiąga nawet dwa rzędy wielkości i wynika zarówno z jakości aparatury, jak i stosowania ekstremalnie odmiennych, od typowych, warunków badania.

Pomimo, że przedstawione powyżej dane dotyczą roku 1995, to – uwzględniając fakt, że struktura i zakres diagnostycznych badań rtg w ciągu ostatnich 4 lat nie uległy zasadniczym zmianom – można przyjąć, że dane te są nadal aktualne.

Pozostałe źródła narażenia radiacyjnego populacji to następujące **sztuczne źródła promieniowania** poza zastosowaniami medycznymi:

- obecność sztucznych substancji promieniotwórczych w środowisku i żywności, spowodowana próbami jądrowymi i awariami jądrowymi,

- działalności zawodowe ze źródłami promieniowania jonizującego,

- wykorzystywanie wyrobów powszechnego użytku zawierających substancje promieniotwórcze, do których należy odnosić – zgodnie ze standardami międzynarodowymi oraz przepisami krajowymi – limit narażenia wynoszący 1 mSv w ciągu roku. Narażenie statystycznego mieszkańca Polski powodowane wymienionymi czynnikami szacuje się w 1999 roku na ok. 0,036 mSv rocznie co stanowi ok.

3,6% limitu 1 mSv. Ocenia się, że **połowa** tego narażenia powodowana jest obecnością sztucznych radionuklidów, zwłaszcza Cs-137 (pochodzących głównie z wybuchów jądrowych oraz awarii czarnobylskiej), w żywności oraz w **powierzchniowej warstwie gleby**.

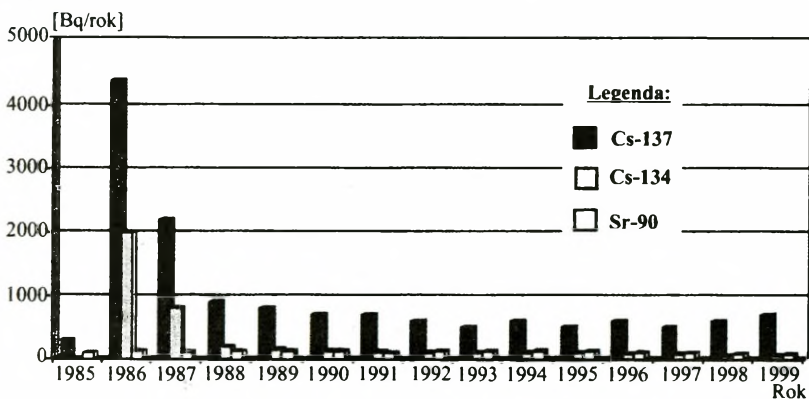
Na podstawie średnich zawartości sztucznych radionuklidów w poszczególnych **produktach spożywczych** oraz przeciętnego ich spożycia (tzw. przeciętnej racji pokarmowej) wyznaczono średnie wchłonięcie tych radionuklidów przez statystycznego mieszkańca Polski (rys. 5). Warto podkreślić, że największy udział w rocznej podaży Cs-137 pochodzi z mleka oraz mięsa i w 1999 r. stanowi odpowiednio ok. 35% oraz 21%. Natomiast grzyby oraz mięso z dziczyzny, pomimo znacznych zawartości Cs-137, nie wnoszą istotnego wkładu do narażenia ze względu na mały ich udział w rocznej diecie. Zgodnie z tymi danymi oszacowano, że efektywny roczny równoważnik dawki otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski w wyniku spożywania żywności zawierającej sztuczne izotopy promieniotwórcze w 1999 r. wynosił ok. 0,012 mSv tj. 1,2% limitu rocznego. Warto zwrócić uwagę, że średnia roczna dawka od naturalnego izotopu K-40 obecnego w produktach spożywczych wynosi ok. 0,25 mSv i znacznie przewyższa dawkę pochodzącą od izotopów sztucznych zawartych w tych produktach. Oczywiście w roku awarii czarnobylskiej podaż Cs-137 z żywnością była około 10-krotnie wyższa (rys. 5) i występował także Cs-134, co jednak i tak dawało efektywny roczny równoważnik dawki na poziomie porównywalnym z naturalnym izotopem K-40, oraz stanowiło zaledwie ułamek rocznego limitu.

Średnie zawartości izotopu Cs-137 oraz zawartości izotopów naturalnych w **glebie** w poszczególnych województwach podano w tabeli 2. Radioaktywność gleby pochodzącą od naturalnych i sztucznych izotopów promieniotwórczych wyznaczana jest na podstawie pomiarów zawartości poszczególnych izotopów promieniotwórczych w próbkach niekulturowanej gleby, pobranych z warstwy o grubości do 10 cm<sup>1</sup>. Wyniki pomiarów próbek gleby pobranych jesienią 1998 r. z 225 punktów kontrolnych na terenie całego kraju wskazują, że za-

---

<sup>1</sup>Pomiary te wykonuje się co dwa lata.

nieczyszczenia gleby, podobnie jak powietrza, powodowane są głównie izotopem Cs-137 uwolnionym do atmosfery w wyniku awarii czarnobylskiej. Stężenia tego izotopu zawierały się w granicach od ok. 0,41 do ok. 34,7 kBq/m<sup>2</sup> przy czym najwyższe poziomy, nadal obserwowane w województwach opolskim, śląskim i dolnośląskim, są skutkiem intensywnych lokalnych opadów deszczu, które miały miejsce na tych terenach w czasie awarii czarnobylskiej.



Rys. 5. Średnia roczna podaż z żywnością Cs-134, Cs-137 i Sr-90 w Polsce w latach 1985-1999

Ponadto w placówkach sieci pomiarów skażeń przeprowadzono pomiary globalnej zawartości izotopów beta promieniotwórczych (łącznie z izotopami naturalnymi) w próbkach glebowych pobranych w 1999 r. Wyniki pomiarów wskazują, że sumaryczne stężenia tych izotopów w powierzchniowej warstwie niekulturowanej gleby zawierały się w granicach od ok. 390 do ok. 770 Bq/kg (średnio ok. 550 Bq/kg) i były na poziomie rejestrowanym w latach 1989-1998. Powyższe dane pozwalają stwierdzić, że:

- zawartość sztucznego izotopu Cs-137 w glebie pochodzi głównie z okresu awarii czarnobylskiej i ulega powolnemu spadkowi wy-

nikającemu głównie z półokresu rozpadu tego izotopu, przy śladowej zawartości izotopu Cs-134,

- średnia zawartość naturalnego izotopu K-40 jest kilkadziesiąt razy wyższa od średniej zawartości sztucznego izotopu Cs-137.

Tabela 2

**ŚREDNIE STĘŻENIA RADIONUKLIDÓW W GLEBIE  
W POSZCZEGÓLNYCH WOJEWÓDZTWACH, W 1999 R.**

Województwo	Stężenia radionuklidów			
	naturalnych [Bq/kg]			sztucznych [kBq/m <sup>2</sup> ]
	Rad-226	Aktyn-228	Potas-40	Cez-137
Dolnośląskie	36,0	30,0	537	4,62
Kujawsko-Pomorskie	16,2	13,8	370	1,33
Lubelskie	19,5	18,2	352	2,84
Lubuskie	14,0	13,0	316	1,13
Łódzkie	18,3	13,2	280	1,53
Małopolskie	31,0	30,4	465	4,57
Mazowieckie	14,7	14,2	340	4,09
Opolskie	25,6	24,3	438	10,47
Podkarpackie	31,7	30,9	437	1,70
Podlaskie	17,2	18,1	453	2,92
Pomorskie	19,0	15,0	354	1,83
Śląskie	28,5	26,7	388	5,23
Świętokrzyskie	19,9	18,5	313	3,34
Warmińsko-Mazurskie	18,2	15,4	418	3,97
Wielkopolskie	15,0	12,3	334	1,15
Zachodniopomorskie	15,7	13,8	335	1,44
Przeciętnie:	24,1	22,0	403	3,49

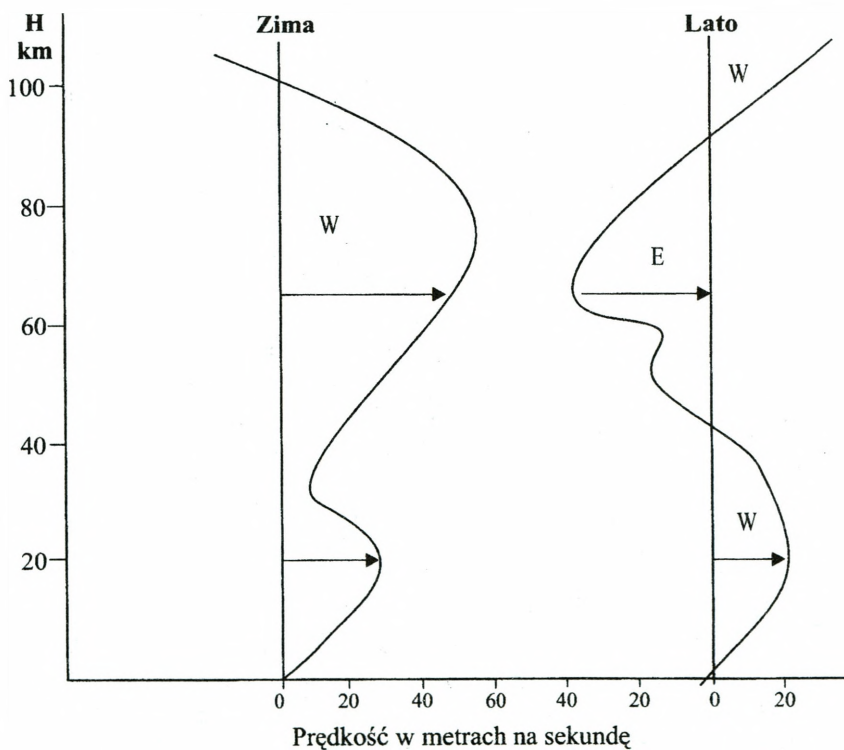
Przedstawione wyniki pomiarów zawartości **sztucznych** radionuklidów w glebie pozwoliły oszacować, że średni efektywny równoważnik dawki powodowanej promieniowaniem emitowanym przez te

radionuklidy (głównie Cs-137) wynosi około 0,005 mSv tj. około 0,5% limitu rocznego. Uwzględniając lokalne różnice w poziomie skażeń cezem gleby oraz w składzie rocznej racji pokarmowej, można przyjąć, że maksymalne dawki od wchłonięć cezu mogą być ok. 5-krotnie wyższe. Oznacza to, że roczny efektywny równoważnik dawki otrzymanej w 1999 roku przez mieszkańca Polski w regionach o najwyższych poziomach zawartości Cs-137 w **glebie i produktach spożywczych** nie przekroczył wartości 0,1 mSv, tj. 10% limitu, który – jak już uprzednio wspomniano – wynosi 1 mSv w ciągu roku.

Obecność w środowisku sztucznych radionuklidów powodująca skażenia gleby i w konsekwencji również żywności i pasz związana jest ze zjawiskiem tzw. opadu całkowitego. Pod nazwą opadu całkowitego rozumie się pyły z cząsteczkami izotopów promieniotwórczych, które wskutek pola grawitacyjnego i opadów atmosferycznych osadzają się na powierzchni ziemi. Sztuczne radionuklidy pojawiły się w atmosferze (i w konsekwencji – w opadzie) przede wszystkim w wyniku prób z bronią jądrową, których szczególne nasilenie wystąpiło na początku 60-tych, zwłaszcza w byłym ZSRR. Podczas wybuchu jądrowego produkty reakcji jądrowych wynoszone są na wysokości rzędu od kilkunastu do kilkudziesięciu kilometrów. Dominująca w naszych szerokościach geograficznych zachodnia cyrkulacja mas powietrza w okresie lata na wysokościach od około 35 do 100 km zmienia się na wschodnią, powodując przepływ mas powietrza i rozprzestrzenianie się produktów reakcji ze wschodu na zachód (rys. 6).

W tabeli 3 pokazano jak zmieniała się na przestrzeni ostatnich 40 lat aktywność beta rocznego opadu całkowitego uśredniona dla obszaru całej Polski. W 1986 roku widać wyraźny wpływ katastrofy w Czarnobylu, kiedy to pożar odsłoniętego bezpośrednio ku atmosferze grafitowego rdzenia reaktora, trwający ok. 10 dni, spowodował wyniesienia termiczne na znaczną wysokość ogromnej ilości produktów rozszczepienia, które następnie zostały rozprzestrzenione w kierunku zachodnim, m.in. również dzięki panującym wówczas warunkom pogodowym (wschodnie wiatry przy wyżowej pogodzie, braku zachmurzenia i opadów). Aktywność beta rocznego opadu całkowitego osiągnęła wtedy rząd wartości występujących w Polsce we wspomnianym wyżej okresie prób z bronią jądrową (przy czym w latach 1962-1963 po radzieckich próbach z bronią termojądrową wartości te

były jednak dwukrotnie wyższe). Dane w tabeli pokazują także, że radioaktywność opadu całkowitego w Polsce już w 1987 roku ponownie powróciła do poziomu tego samego rzędu co przed awarią i w kolejnych latach nadal systematycznie malała. W 1999 r. była na poziomie niższym niż w roku 1985.



Rys. 6. Profil średnich wiatrów dla szer. geogr. 50° (opracowano według uogólnionego schematu Battena)

Tabela 3

**AKTYWNOŚĆ BETA OPADU CAŁKOWITEGO W LATACH 1959-1999  
(WG DANYCH CENTRALNEGO LABORATORIUM OCHRONY  
RADIOLOGICZNEJ ZEBRANYCH W RAMACH PAŃSTWOWEGO  
MONITORINGU ŚRODOWISKA)**

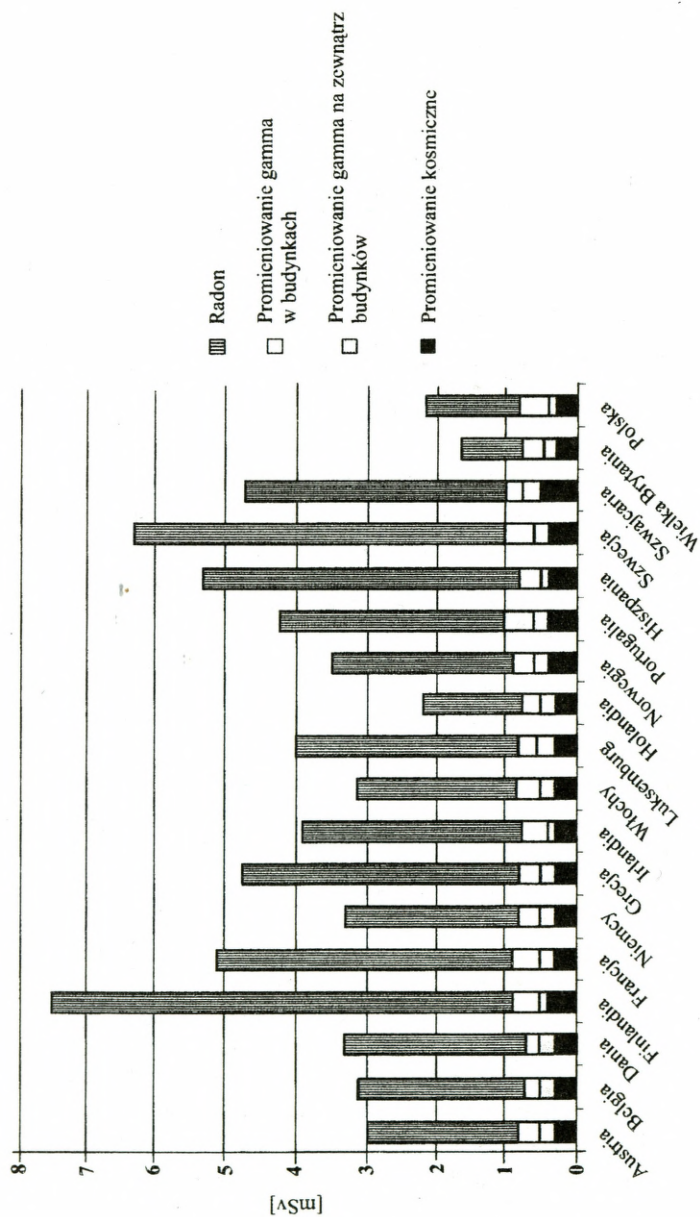
Lata	Aktywność beta rocznego opadu całkowitego w kBq/m <sup>2 a)</sup>	Lata	Aktywność beta rocznego opadu całkowitego w kBq/m <sup>2 a)</sup>
1959	12,60	1980	0,46
1960	1,40	1981	1,21
1961	18,99	1982	0,44
1962	37,75	1983	0,45
1963	34,67	1984	0,41
1964	7,39	1985	0,41
1965	2,72	1986	19,01
1966	1,51	1987	0,53
1967	1,19	1988	0,45
1968	1,98	1989	0,43
1969	1,85	1990	0,39
1970	2,46	1991	0,39
1971	2,75	1992	0,36
1972	1,65	1993	0,36
1973	0,50	1994	0,34
1974	1,21	1995	0,33
1975	0,77	1996	0,34
1976	1,31	1997	0,35
1977	1,91	1998	0,32
1978	0,98	1999	0,34
1979	0,49		

<sup>a)</sup> wartość uśredniona dla obszaru całej Polski

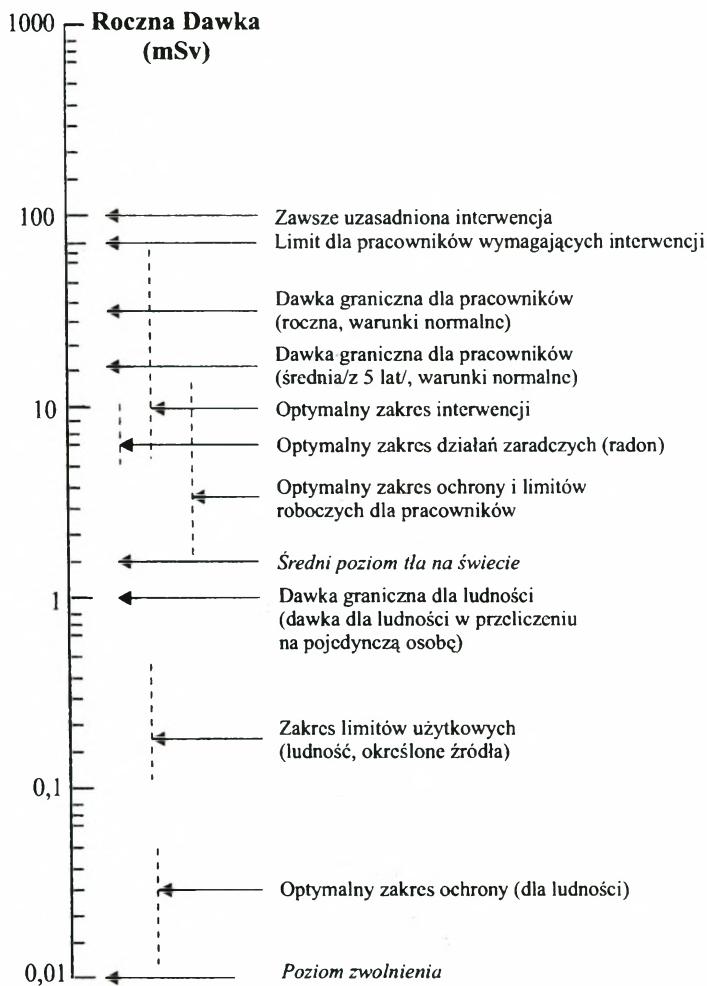
Przytoczone wyżej dane o narażeniu ludności Polski od **sztucznych** źródeł promieniowania jonizującego, pochodzącym od skażeń środowiska i żywności po próbnym wybuchach jądrowych i awarii

czarnobylskiej pokazują jak jest ono małe (**0,036 mSv** w przeliczeniu na statystycznego mieszkańca rocznie w roku 1999, a w ciągu pierwszego roku po awarii czarnobylskiej – ok. **0.3 mSv** rocznie) nawet w porównaniu z narażeniem związanym z diagnostyką medyczną (**0,85 mSv** rocznie) nie mówiąc już o promieniowaniu naturalnym – (**2,4 mSv** rocznie). Jeśli jeszcze dodatkowo wziąć pod uwagę, że naturalne tło promieniowania podlega dobowym i okresowym wahaniom (podobnie jak każdy inny parametr środowiska – jak np. temperatura, ciśnienie, czy wilgotność powietrza), a także fakt, że jeśli uwzględnić jego średnie wartości na przestrzeni dłuższego okresu czasu, to zmienia się ono także w zależności od położenia geograficznego, to można stwierdzić, iż narażenie ludności od sztucznych źródeł promieniowania mieści się w granicach naturalnej zmienności promieniowania naturalnego. Na rys. 7 pokazano jak w zestawieniu z Polską kształtują się średnie roczne wartości dawki efektywnej od naturalnych źródeł promieniowania jonizującego w różnych krajach Europy z uwzględnieniem narażenia od radonu, od promieniowania gamma wewnątrz i na zewnątrz budynków oraz od promieniowania kosmicznego. Różnice pomiędzy poszczególnymi krajami w obrębie trzech ostatnich z wymienionych składowych dochodzą do kilkudziesięciu procent, a w przypadku narażenia od radonu różnice są nawet kilkukrotne. W rezultacie naturalne tło promieniowania np. w Finlandii osiąga średnio rocznie 7,5 mSv na osobę, w Szwecji – 6,3 mSv, we Francji, Grecji, Hiszpanii, Szwajcarii – ok. 5 mSv.

Na rys. 8. pokazano, jak w stosunku do wartości średniego tła promieniowania naturalnego na świecie usytuowane są poziomy i przedziały wartości stosowanych dawek granicznych, limitów użytkowych (roboczych) oraz optymalnych zakresów działań ochronnych i interwencyjnych dla ludności oraz dla osób narażonych zawodowo na promieniowanie jonizujące. Należy jeszcze raz podkreślić, że wszystkie te przedziały wartości, rozciągające się łącznie „aż” na pięć dekad (skala pionowa na rysunku jest skalą logarytmiczną obejmującą wartości od 10 mikrosiwertów do 1 siwerta czy inaczej od  $10^{-2}$  do  $10^3$  mSv), mieszczą się w zakresie rocznych dawek efektywnych o wartościach poniżej wartości progowej dla następstw deterministycznych, a więc



Rys. 7. Średnie roczne dawki efektywne na statystycznego mieszkańca od naturalnych źródeł promieniowania jonizującego w różnych krajach Europy



Rys. 8. Wartości dawek granicznych, wartości limitów wymagających interwencji i przedziały wartości stosowanych w praktyce limitów użytkowych i roboczych oraz optymalnych zakresów ochrony dla ludności i pracowników, narażonych zawodowo na promieniowanie

dawek, które wprawdzie mogą, ale wcale nie muszą wywołać jakichkolwiek następstw dla zdrowia. Prawdopodobieństwo wystąpienia następstwa stochastycznego jest większe dla dawek większych – bliższych wartości progowej, natomiast dla dawek bliskich poziomowi tła naturalnego istnienie liniowej zależności tego prawdopodobieństwa od wartości dawki jest jedynie hipotezą, której nie sposób udowodnić. Istnieje wręcz teoria, że takie małe dawki mogą być korzystne dla zdrowia, stymulując zdolność organizmu do odtwarzania komórek (wytwarzania nowych komórek w miejsce zniszczonych przez promieniowanie). Pogląd taki zgodny jest z intuicyjnym odczuciem, iż wszystko co dzieje się w granicach wahań istniejącego od zarania dziejów naturalnego tła promieniowania lub niewiele od niego odbiega, nie może być dla człowieka niebezpieczne.

Dane zamieszczone w załączniku 1 pokazują przypadki, w których promieniowanie okazało się natomiast rzeczywiście bardzo niebezpieczne, niekiedy śmiertelnie. Obrazują one najbardziej dramatyczne zdarzenia z ponad 100 lat doświadczeń w dziedzinie świadomego posługiwania się przez człowieka substancjami promieniotwórczymi w różnych celach i 60 lat doświadczeń związanych z pokojowym wykorzystaniem energii rozszczepienia jądra atomowego. Wnioski płynące z tych doświadczeń doprowadziły do określenia i wdrożenia w praktyce **normalnej pracy** z promieniowaniem omówionych wyżej szczegółowo **zasad ochrony radiologicznej**, sprowadzających się w istocie do **ograniczenia prawdopodobieństwa wystąpienia następstw zdrowotnych**, przez **ograniczenie** w rozsądny sposób **dawek zgodnie z zasadą ALARA**, dzięki zastosowaniu przy pracy z promieniowaniem odpowiednich rozwiązań organizacyjnych (ograniczenie czasu przebywania w polu promieniowania, zachowanie odpowiedniej odległości od źródła zagrożenia, przestrzeganie zasad ochrony przed skażeniami) i technicznych (stosowanie osłon i blokad, pomiary pól promieniowania i skażeń).

Doświadczenia w dziedzinie wykorzystania reakcji rozszczepienia doprowadziły dodatkowo do wprowadzenia rozwiązań technicznych i organizacyjnych mających na celu ograniczenie **prawdopodobieństwa awarii**, zwiększających bezpieczeństwo instalacji i procesów w stopniu tak wysokim jak to jest rozsądnie osiągalne – **zgodnie**

**z zasadą SAHARA** („*safety as high as reasonably achievable*”). Instrumentem wymuszającym podjęcie działań w celu ograniczenia prawdopodobieństwa awarii prowadzącej do zaistnienia nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego są zezwolenia, z zawartymi w nich warunkami.

Ograniczenie prawdopodobieństwa zaistnienia nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego nie oznacza całkowitego wykluczenia takiej możliwości. Zatem występujący o zezwolenie na prowadzenie działalności ze źródłami promieniowania jonizującego, jak również udzielający takiego zezwolenia, winni przeszedźć wszelkie możliwe scenariusze, nawet te najmniej prawdopodobne, które mogą prowadzić do sytuacji awaryjnych i nadzwyczajnych zagrożeń radiacyjnych, oraz muszą zaproponować i uzgodnić sposób postępowania w takich przypadkach. Przy projektowaniu współczesnych energetycznych reaktorów jądrowych prawdopodobieństwo zajścia awarii elementów obiektu, która może być uznana za takie nadzwyczajne zdarzenie, wynosi zwykle nie więcej niż  $10^{-6}$  rok<sup>-1</sup>, czyli raz na milion lat pracy reaktora (lub inaczej, raz na 50 lat – taki może być mniej więcej czas eksploatacji reaktora – pracy 20000 reaktorów tego typu), a jednak projekt taki nie uzyska akceptacji urzędu dozoru jądrowego i nie będzie zrealizowany, jeśli brak w nim przewidzianego postępowania w takich przypadkach, które noszą nazwę „awarii projektowych”. Te współczesne reaktory są zresztą tak konstruowane, by żadna „awaria projektowa” nie prowadziła do przekroczenia ustalonych dla osób postronnych poziomów dawek przy ogrodzeniu obiektu, co oznaczałoby brak konieczności wyznaczania strefy ochronnej obiektu czy planowania ewakuowania mieszkańców z sąsiedztwa na wypadek awarii. W odniesieniu do obecnie eksploatowanych reaktorów pozostawia się jednak pewien dodatkowy margines bezpieczeństwa uwzględniający przy planowaniu awaryjnym rozwój sytuacji wykraczający poza „awarię projektową” wynikającą z przyjętych i przeanalizowanych scenariuszy. Takie pesymizujące podejście prowadzi do utrzymywania strefy pilnych działań interwencyjnych w bezpośredniej bliskości obiektu. W przypadku elektrowni jądrowych występujący w ich planach awaryjnych promień strefy objętej planowaniem pil-

nych działań interwencyjnych, nawet w przypadku bardzo poważnej awarii nadprojektowej, polegającej na poważnym uszkodzeniu paliwa w rdzeniu reaktora, nie przekracza 30 km od reaktora, natomiast tzw. późne działania interwencyjne w zasadzie nie są planowane poza strefą 300 km od miejsca awarii.

Myśląc o awarii prowadzącej do zaistnienia sytuacji nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego należy również brać pod uwagę możliwość sabotażu czy ataku terrorystów, przy czym tym sabotażystą czy terrorystą może być też pracownik zakładu, nawet np. operator reaktora czy kierownik danej pracowni izotopowej.

#### 4. POTENCJALNE ŹRÓDŁA ZDARZEŃ RADIACYJNYCH

Potencjalna możliwość wystąpienia zagrożenia radiacyjnego jest tym większa, im większe jest źródło tego zagrożenia (tj. im większa jest ilość i aktywność substancji promieniotwórczej lub/ oraz im większa jest energia i przenikliwość wytwarzanej wiązki promieniowania). Obiektami, w których występują takie duże lub silne źródła promieniowania, są przede wszystkim reaktory jądrowe (energetyczne i badawcze), magazyny źródeł i składowiska odpadów promieniotwórczych, akceleratory cząstek naładowanych, duże aparaty rentgenowskie albo duże źródła cezowe lub kobaltowe do napromieniowań medycznych, aparaty rentgenowskie lub gammagraficzne do diagnostyki technicznej (jak np. przenośne defektoskopy z silnym źródłem Ir-192). Te ostatnie są najczęstszą przyczyną rejestrowanych co roku w Polsce kilku przypadków zwiększonego narażenia, tj. dawek bliskich dopuszczalnym dla narażonych zawodowo (50mSv rocznie) lub nieznacznie przekraczających tę wartość. Zarejestrowane na świecie przypadki narażenia dawkami stanowiącymi poważne zagrożenie dla zdrowia i życia, z wypadkami śmiertelnymi włącznie (dawki rzędu tysięcy mSv), poza zastosowaniami militarnymi, awariami tzw. reaktywnościowymi w reaktorach badawczych i innych instalacjach związanych z jądrowym cyklem paliwowym oraz awarią czarnobyłską, związane były z akceleratorami oraz dużymi źródłami kobaltowymi lub cezowymi stosowanymi w radioterapii, które wymknęły się spod kontroli. Istotnym źródłem zagrożenia są też pracownice z tzw. źródłami otwartymi oraz zakłady produkcji źródeł i urządzeń izotopowych, tj. takie, w których dokonuje się manipulacji z substancjami promieniotwórczymi, gdzie istnieje realne niebezpieczeństwo powstawania skażeń promieniotwórczych (w Polsce jest łącznie ok. 500 takich pracowni i zakładów).

Niektóre prace ze źródłami promieniotwórczymi prowadzone są w terenie (na przykład stosowanie znaczników promieniotwórczych), gdzie istnieje możliwość niekontrolowanego przedostania się substan-

cji promieniotwórczych do środowiska. Dotyczy to również transportu źródeł. Wprawdzie obowiązujące w Polsce i w innych krajach uzgodnione w skali międzynarodowej przepisy transportowe narzucają taki sposób opakowania źródeł, który praktycznie eliminuje jakiegokolwiek narażenie na zewnątrz opakowania tzw. „sztuki przesyłki”, jednak nie można całkowicie wykluczyć katastrofy komunikacyjnej lub przypadków kradzieży. Czasem istnieje konieczność przewiezienia bardzo dużego źródła. Odbywa się to wówczas na tzw. warunkach specjalnych, tj. takich, które wymagają specjalnego zabezpieczenia źródła i trasy przewozu. Natomiast przy stosowaniu źródeł w terenie przestrzega się bardzo skrupulatnie procedur bezpiecznego postępowania oraz stosuje się izotopy o krótkim okresie półrozpadu, tj. takie, które rozpadają się w sposób naturalny szybko zanikają.

Niezwykle mało prawdopodobnym, lecz nie dającym się wykluczyć źródłem zagrożenia radiacyjnego może być upadek pojazdu kosmicznego wyposażonego w jądrowe źródła energii.

W ostatnim okresie przyjmuje się również możliwość zaistnienia nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego w wyniku zamachu terrorystów, dysponujących bądź większą ilością (aktywnością) substancji promieniotwórczych, bądź – zwłaszcza – ładunkiem jądrowym. Zapobieganie takim zdarzeniom, to przede wszystkim zaostrenie reżimu kontroli i ochrony fizycznej miejsc, z których mogłyby się dostać w niepowołane ręce materiały promieniotwórcze czy rozszczepialne. Do działań zapobiegawczych należy zaliczyć także przeciwdziałanie nielegalnemu obrotowi takich materiałów, łącznie z kontrolą przejść granicznych. Niezależnie od wielkiej wagi, jaką w wielu krajach przykładają się do tych zagadnień, od stale doskonalonego systemu kontroli magazynów źródeł i obiektów jądrowych, należy założyć, że istnieje prawdopodobieństwo, iż np. ładunki jądrowe już znajdują się w posiadaniu osób, które nie zawahają się – jak to wykazały niektóre zamachy terrorystyczne ostatnich lat, przed ich użyciem nawet w dużych miastach. Zagrożenie to stwarza zupełnie nowe wyzwanie dla służb policyjnych i obrony cywilnej; różni się ono od zagrożeń w czasie konfliktu militarnego, gdyż (1) zawiera ewentualnie etap negocjacji oraz (2) może nastąpić bez żadnej zapowiedzi, bez żadnych sygnałów powodujących mobilizację „zaatakowanej” społeczności.

## 5. REAKTORY JĄDROWE JAKO ŹRÓDŁA ZAGROZEŃ RADIACYJNYCH

Reaktory jądrowe, szczególnie duże reaktory energetyczne w elektrowniach jądrowych są potencjalnym źródłem zagrożeń, na które stosunkowo najbardziej wyczulona jest opinia publiczna przede wszystkim w efekcie katastrofy czarnobylskiej. Warto zatem przyjrzeć się bliżej na czym polega bezpieczeństwo obecnie eksploatowanych reaktorów i jak jesteśmy przygotowani do reagowania na mogące w nich zaistnieć incydenty czy awarie. W reaktorach zachodzi kontrolowana reakcja rozszczepienia jąder uranu (częściowo także plutonu), w której wyniku powstaje ogromna ilość różnych nuklidów silnie promieniotwórczych. Ich ilość narasta wewnątrz elementów paliwowych w rdzeniu reaktora w miarę upływu czasu. Są one oddzielone od środowiska szeregiem kolejnych barier fizycznych i technologicznych, które praktycznie uniemożliwiają wydostanie się substancji promieniotwórczych na zewnątrz bez zniszczenia kolejno wszystkich tych barier.

Obecnie eksploatowanych jest w świecie ok. **440 reaktorów energetycznych**, tj. produkujących ciepło do produkcji energii elektrycznej. Ponadto działa podobna liczba reaktorów badawczych i do produkcji radioizotopów, jak również kolejne kilkaset reaktorów stanowiących podstawę napędu łodzi podwodnych i innych jednostek pływających. Wśród reaktorów energetycznych znakomitą większość – ok. 350 bloków jądrowych to reaktory typu **PWR/WWER i BWR, chłodzone i moderowane lekką wodą** – w odróżnieniu od także eksploatowanych w kilku krajach świata około 30 reaktorów **ciężkowodnych** typu **CANDU (PHWR)** – opartych na technologii kanadyjskiej. Nieliczną grupę – 35 bloków jądrowych stanowią reaktory **gazowo-grafitowe (GCR i AGR) chłodzone gazem z moderatorem grafitowym**, eksploatowane obecnie niemal wyłącznie w Wielkiej Brytanii. Podobnie nieliczne – ok. 20 bloków reaktory **kanałowe chłodzone wodą z moderatorem grafitowym (typu RBMK)** budowane tylko na terenie byłego **ZSRR** i eksploatowane obecnie jedynie

w 5 następujących lokalizacjach: **Sosnowy Bór (koło St. Petersburga), Smoleńsk i Kursk w Rosji, Ignalino na Litwie oraz Czarnobyl na Ukrainie.** Bilansu elektrowni jądrowych na świecie dopełnia 5 bloków z reaktorami **prędkimi powielającymi – FBR.**

Rozmieszczenie elektrowni jądrowych w Europie, gdzie w 1999 roku pracowało 220 reaktorów energetycznych pokazano na mapie zamieszczonej w załączniku. Zwraca uwagę ich zagęszczenie w najwyższej rozwiniętych krajach, takich jak Francja, W. Brytania, Niemcy, Szwecja, Finlandia, Szwajcaria, Belgia, Holandia, Hiszpania. Elektrownie jądrowe eksploatowane są także w Czechach, na Węgrzech, w Słowenii, Słowacji, Rumunii (jedyny w Europie reaktor CANDU) oraz na Litwie, na Ukrainie i w Rosji. Poza wspomnianymi wyżej pięciu lokalizacjami elektrowni z reaktorami RBMK i jedną z reaktorem CANDU nie ma w pobliżu Polski innych reaktorów, jak tylko reaktory lekkowodne, tzw. wodne – wrzące – BWR oraz wodne – ciśnieniowe – PWR, których wersja budowana w krajach byłego bloku wschodniego, w oparciu o technologię radziecką, jest znana pod nazwą WWER. Najpoważniejsza awaria, jaka dotąd wydarzyła się w tego typu reaktorach w roku 1979 w elektrowni jądrowej Three Mile Island (TMI) koło Harrisburga w USA, nie spowodowała w praktyce żadnych uwolnień do środowiska substancji promieniotwórczych, które spowodowałyby jakkolwiek wzrost narażenia ludności zamieszkującej w okolicy obiektu, mimo, że sam reaktor uległ wówczas bardzo poważnym uszkodzeniom, włącznie ze stopieniem się znacznej części paliwa w rdzeniu reaktora. Stało się tak dlatego, że produkty rozszczepienia, które wydostały się ze stopionego paliwa do ciśnieniowego obiegu chłodzenia reaktora, który w wyniku sekwencji zdarzeń awaryjnych uległ osuszeniu i rozszczelnieniu, zostały **zatrzymane przez szczelny budynek reaktora** – tzw. obudowę bezpieczeństwa (*containment*), specjalnie zaprojektowany tak by wytrzymać ciśnienie powstające w nim, gdy cała objętość wody chłodzącej reaktor zamienia się w parę i wydostaje do jego wnętrza z rozszczelnionego obiegu chłodzenia reaktora, którego uszkodzenie jest zazwyczaj przyczyną takiej awarii. Warunkiem bowiem zachowania w stanie ciekłym chłodziwa (wody) przy panujących w reaktorze temperatu-

rach (rzędu 350° C) jest utrzymywanie wysokiego ciśnienia (w reaktorach PWR dochodzącego do ok. 160 barów) w pierwotnym obiegu chłodzenia reaktora. Obieg pierwotny stanowi z natury rzeczy solidną, szczelną barierę, jedną z kilku na drodze pomiędzy pastylkami paliwowymi, w których gromadzą się produkty rozszczepienia, a otoczeniem. Paliwo w postaci rurek cyrkonowych wypełnionych pastylkami z dwutlenku lub węgliku uranu omywa woda, tłoczona pod wysokim ciśnieniem przez rdzeń, odprowadzając ciepło wytworzone w paliwie w wyniku podtrzymywanej w rdzeniu reakcji rozszczepienia do wytwornicy pary. Para jest używana do obracania łopatek wirnika turbogeneratora. Wszystkie reaktory moderowane wodą mają właściwość utrzymywania stałego poziomu mocy dzięki tzw. ujemnemu współczynnikowi temperaturowemu reaktywności. Reaktywność jest miarą tempa mnożenia neutronów potrzebnych do podtrzymania reakcji rozszczepienia. Ujemny współczynnik temperaturowy oznacza, że każdy chwilowy przyrost temperatury chłodziwa powoduje spadek tempa mnożenia neutronów i intensywności reakcji rozszczepienia, a więc obniżenie mocy i w efekcie – spadek temperatury. I odwrotnie, każdy chwilowy spadek temperatury chłodziwa powoduje wzrost intensywności reakcji rozszczepienia, wzrost mocy i w efekcie – wzrost temperatury. Nawet gdyby wysunąć z rdzenia reaktora moderowanego wodą pręty regulacyjne, pochłaniające neutrony, to chwilowy wzrost mocy i temperatury spowodowałby tak intensywny spadek mnożenia neutronów, że reaktor uległby sam wyłączeniu. Trudne są zatem do wyobrażenia w tego typu reaktorach awarie reaktywnościowe powodujące nagły duży wzrost mocy i temperatur w rdzeniu reaktora, prowadzący do uszkodzenia paliwa. Każdy reaktor natomiast po wyłączeniu – kiedy całkowicie ustanie w nim reakcja rozszczepienia, produkuje jeszcze przez znaczny okres czasu duże ilości ciepła (tzw. powyłaczeniowego). Właśnie niemożność odprowadzenia tego ciepła może doprowadzić do najpoważniejszych awarii w tego typu reaktorach. Najgroźniejsze sytuacje stwarza więc w tego typu reaktorach rozszczelnienie obiegu pierwotnego, kiedy obniżenie ciśnienia prowadzi do odparowania chłodziwa i zmniejszenia jego zdolności do odebrania ciepła, a w konsekwencji powoduje wzrost temperatury paliwa,

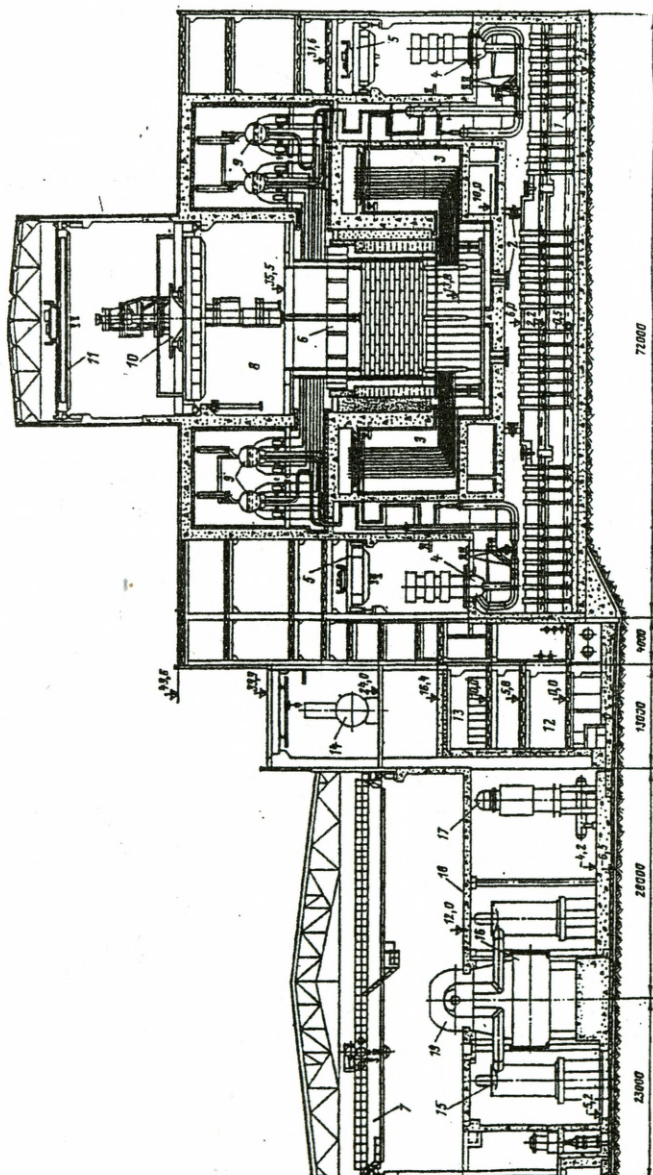
mogący prowadzić w skrajnym przypadku do rozszczelnienia prętów paliwowych i wydostania się z nich w pierwszym rzędzie gazowych produktów rozszczepienia. Odparowanie chłodziwa powoduje wzrost ciśnienia mogący wywołać rozerwanie rurociągów, i całkowite osuszenie obiegu pierwotnego, oraz odsłonięcie rdzenia reaktora powodujące topienie się paliwa. Istnienie ciśnieniowej obudowy bezpieczeństwa pozwala na opanowanie nawet takich, najgroźniejszych zdarzeń. Dzięki rozprężeniu się pary wydostającej się pod wysokim ciśnieniem z obiegu pierwotnego do dużej objętości obudowy, obniża się jej ciśnienie i temperatura, a niesione parą produkty rozszczepienia pozostają wewnątrz obudowy. Jeśli nawet wzrost ciśnienia wewnątrz obudowy będzie na tyle gwałtowny, iż spowoduje jej nieszczelność, to **uwolnienia na zewnątrz** będą trwały stosunkowo krótko (**rzędu godzin**). Na taką okoliczność przewidziana jest zazwyczaj możliwość uwolnień kontrolowanych przez odpowiednie zawory bezpieczeństwa (*venting*), by niedopuszczyć do uszkodzenia obudowy bezpieczeństwa i uwolnień spontanicznych. Oczywiście do opisanej „maksymalnej” awarii nigdy jeszcze nie doszło, a w wyniku bardzo skrupulatnych badań i analiz przebiegu awarii w TMI wyposażono reaktory tego typu w takie dodatkowe systemy zabezpieczeń, które obniżyły prawdopodobieństwo uszkodzenia rdzenia (*core damage frequency*) w obecnie eksploatowanych reaktorach do wartości **CDF=10<sup>-5</sup> na reaktor i rok**, natomiast prawdopodobieństwo zaistnienia znacznego wycieku poza obudowę bezpieczeństwa (*large release frequency*) do wartości **LRF=10<sup>-7</sup> na reaktor i rok**.

Nie wchodząc głębiej w pierwotne przyczyny awarii w Czarnobylu, największej w historii energetyki jądrowej, łatwo wskazać istotne różnice pomiędzy cechami reaktora RBMK, a omówionymi wyżej cechami reaktora wodnego ciśnieniowego (PWR/WWER) czy wręczego (BWR). RBMK jest reaktorem kanałowym, chłodzonym wodą, ale z moderatorem grafitowym. Jako taki, nie ma ujemnego współczynnika temperaturowego reaktywności, co powoduje, iż przy wadliwym czy opóźnionym zadziałaniu prętów sterujących może w nim dojść (i doszło w Czarnobylu w 1986 roku) do gwałtownego wzrostu mocy, wzrostu temperatury i uszkodzenia (stopienia się) paliwa. Re-

akcja pary wodnej z cyrkonem, z którego wykonane są koszulki elementów paliwowych doprowadziła do powstania dużych ilości wodoru, który w połączeniu z tlenem i wysoką temperaturą spowodował potężny wybuch. Wybuch ten zerwał i odrzucił górną płytę osłonową nad rdzeniem reaktora, całkowicie odsłaniając rdzeń oraz wywołał trwający **10 dni** pożar grafitu w rdzeniu reaktora, powodujący unoszenie termiczne bezpośrednio do atmosfery ogromnej ilości produktów rozszczepienia z całkowicie stopionego rdzenia. Właśnie tak długotrwałe wielkie uwolnienia (rzędu wielu dni, a nie pojedynczych godzin), pożar rdzenia reaktora (ogromna ilość palnego grafitu) oraz brak obudowy bezpieczeństwa, jako ostatniej bariery przeciwdziałającej wydostaniu się produktów rozszczepienia do środowiska, przesądziły o rozmiarach katastrofy czarnobylskiej. Reaktory RBMK zainstalowane są w zwykłych budynkach typu przemysłowego (rys. 9) w odróżnieniu od reaktorów innych typów, a w szczególności reaktorów PWR/WWER i BWR wyposażonych w szereg barier, w tym w szczelny budynek ciśnieniowy (rys. 10).

Poza omówionymi wyżej najpoważniejszymi awariami, w historii rozwoju techniki reaktorowej odnotowano jeszcze kilka poważnych nadzwyczajnych zdarzeń radiacyjnych (załącznik 1), ale dotyczyły one raczej stosunkowo małych reaktorów doświadczalnych. Zdarzające się częściej w elektrowniach jądrowych incydenty i mniejsze awarie powodują zaledwie naruszenie wspomnianych wyżej barier i stąd, jeżeli nawet zachodzą uwolnienia substancji promieniotwórczych, mają one zwykle bardzo lokalny i ograniczony charakter.

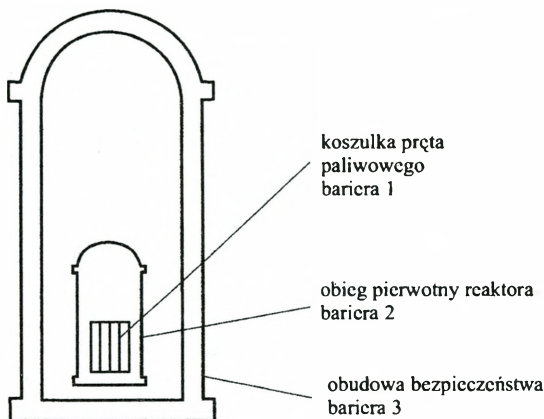
Sytuację tę dobrze odzwierciedla międzynarodowa skala zdarzeń jądrowych – tzw. skala INES (zob. załącznik), która zdarzeniom takim nadaje klasy od 0 („bez znaczenia dla bezpieczeństwa jądrowego”) do 7 („wielka awaria”). Np. w 1999 roku Centrum Zdarzeń Radiacyjnych Państwowej Agencji Atomistyki „CEZAR” otrzymało w ramach międzynarodowego systemu powiadamiania 20 meldunków o incydentach w elektrowniach jądrowych, z których 13 dotyczyło zdarzeń klasy 2 (incydenty), 1 klasy 3 (poważny incydent), 1 klasy 4 (awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem) a pozostałe pięć – klasy 1 (anomalie) lub 0.



- |                              |  |                                    |
|------------------------------|--|------------------------------------|
| 1. basen awaryjny            | 11. suwnica  | 15. separator pary - przegrzewacz  |
| 2. zawory awaryjne           | 12. boks urządzeń upustu pary dla potrzeb własnych | 16. skraplacz                      |
| 3. boks ciągów wodnych       | 13. sterownia                                      | 17. regeneracyjny wymiennik ciepła |
| 4. główna pompa cyrkulacyjna | 14. boks odpowietrzacza                            | 18. podłoga                        |
| 5. suwnica                   |  | 19. turbina                        |
| 6. reaktor                   |  |                                    |
| 7. suwnica                   |  |                                    |
| 8. pomieszczenie reaktora    |  |                                    |
| 9. walczaki separacji pary   |  |                                    |
| 10. maszyna przeładowcza     |  |                                    |

Rys. 9. Przekrój pionowy budynku reaktora RBMK i maszynyowni

## BARIERY FIZYCZNE ZABEZPIECZAJĄCE PRZED WYDOSTAWANIEM SIĘ PRODUKTÓW ROZCZEPHENIA Z PALIWA



Deterministyczne skutki zdrowotne mogą wystąpić jedynie w przypadku:

- Uszkodzenia rdzenia, oraz
- Wczesnego uszkodzenia obudowy bezpieczeństwa

Rys.10. Schemat barier izolujących rdzeń reaktora PWR od środowiska

Obecnie zalecane przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) zasady przygotowania na wypadek poważnej awarii w obiektach jądrowych, oparte są na analizach przebiegu i skutków awarii w elektrowniach jądrowych Three Miles Island (TMI) w USA – INES=5 i w Czarnobylu – INES=7. Analizy awarii w TMI wskazują na fakt, iż do niekontrolowanych uwolnień substancji promieniotwórczych na zewnątrz elektrowni, a właściwie budynku reaktora, mogących stanowić poważne zagrożenie, może dojść jedynie w przypadku **uszkodzenia (stopienia) paliwa w rdzeniu** reaktora, a moment uwolnienia operator reaktora jest w stanie określić już na **kilka do kilkunastu godzin wcześniej zanim to nastąpi**, na podstawie śledzenia parametrów takich, jak zmiany odpowiednich temperatur, ciśnień i poziomów chłodziwa (tzw. parametrów bezpieczeństwa reaktora) w miarę rozwoju awarii. Awarię polegającą na stopieniu rdzenia cechuje bardzo niskie prawdopodobieństwo wystąpienia (w obecnie eksploatowanych reaktorach rzędu  $10^{-4}$ – $10^{-6}$  reaktorolat, w zależności

od typu i generacji reaktora). Jeśli już jednak do niej dojdzie, a konstrukcja reaktora nie stwarza możliwości zatrzymania uwolnionych z reaktora produktów rozszczepienia w budynku reaktora, następuje uwolnienie tych substancji do atmosfery, które w postaci radioaktywnej chmury mogą przemieszczać się na dużą odległość (zagrożając nawet sąsiednim państwom). Sytuacja taka wymaga z reguły podjęcia bardzo energicznych działań w celu ochrony ludności zamieszkałej w pobliżu elektrowni zwykle w promieniu kilku do kilkunastu kilometrów od reaktora (**natychmiastowa ewakuacja i ukrycie, podawanie stabilnego jodu**), a także w dalszej odległości kilkunastu do kilkudziesięciu, rzadko – kilkuset kilometrów (**ukrycie, restrykcje żywnościowe, profilaktyka jodowa w odniesieniu do dzieci**) w zależności od sytuacji, w kierunkach i w miejscach uwarunkowanych aktualnej sytuacji pogodowej i wynikami prowadzonych pomiarów środowiskowych. Rozwinięcie takich akcji wymaga czasu rzędu godzin, o ich powodzeniu decydować więc może jedynie odpowiednio wczesne zawiadomienie o wystąpieniu sekwencji zdarzeń prowadzących do takiej awarii (i możliwości stopienia rdzenia) wprost od operatora reaktora **zanim faktycznie do tego dojdzie**, a więc w oparciu o diagnozowanie rozwoju sytuacji w obiekcie (*plant conditions*) **na kilka do kilkunastu godzin przed uwolnieniem** (*pre-release phase of nuclear accident*). Lekcja Czarnobyla (brak natychmiastowego zawiadomienia o awarii, a zarazem całkowity brak lub słabość obudowy bezpieczeństwa w elektrowniach starszych typów budowanych wg radzieckiej technologii) spowodowała w początkowym okresie po awarii czarnobylskiej nastawienie przygotowania awaryjnego w wielu krajach na rozwijanie bardzo czułych systemów detekcji skażeń powietrza, wysuniętych zwłaszcza w kierunku potencjalnie zagrożających reaktorów. Taki element „wczesnego wykrywania” awarii jest jednak w stanie zadziałać dopiero po uwolnieniu substancji promieniotwórczych na zewnątrz obiektu (*post release phase*), kiedy prowadzenie akcji ratowniczej (np. ewakuacji) w pobliżu obiektu jest już utrudnione i jej skuteczność jest nieporównanie niższa niż przed uwolnieniem. Obecna doktryna reagowania na duże awarie jądrowe opiera się przede wszystkim na **diagnozowaniu sytuacji** w obiekcie

i rzeczywistym **wczesnym ostrzeganiu**, a więc z wykorzystaniem **środków łączności**, traktując systemy **wczesnego wykrywania skażeń** (monitoring radiologiczny) jako niezbędny środek weryfikacji dla procesów modelowania i prognozowania rozwoju sytuacji (dla potrzeb wspomagania decyzji) zainicjowanych wcześniej – już w momencie otrzymania ostrzeżenia, jak również dla oceny skutków zdarzenia, a więc w fazie po-awaryjnej. Podejście takie jest naturalną konsekwencją lawinowego rozwoju oraz dostępności środków i systemów łączności jaki nastąpił w ostatnich latach, oraz rozwoju komputerowych technik modelowania i prognozowania, które wykorzystywane są w centrach analizy sytuacji i zarządzania kryzysowego, już istniejących bądź tworzonych obecnie od podstaw w wielu krajach. Podejście takie jest możliwe również dzięki zmianom politycznym jakie zaszły w ciągu ostatniej dekady, pozwalającym zakładać realność uzyskania zrozumienia i osiągnięcia porozumienia w sprawie wdrożenia skutecznych procedur wczesnego wzajemnego ostrzegania w skali międzynarodowej, a przede wszystkim pomiędzy krajami posiadającymi obiekty jądrowe lub blisko sąsiadującymi z nimi – a więc harmonizacji metod i środków reagowania na nadzwyczajne zagrożenia radiacyjne w skali międzynarodowej.

Polska nie posiadając sama elektrowni jądrowych, ma w **odległości do ok. 300 km** od swych granic (rys. 11) 10 elektrowni jądrowych (25 bloków – reaktorów energetycznych) o łącznej mocy zainstalowanej ok. 16 tys. MW<sub>e</sub> (odpowiada to mocy cieplnej ok. 50 tys. MW<sub>t</sub>). Wśród nich znajduje się:

- **piętnaście bloków z reaktorami WWER-440** (o mocy 440 MW<sub>e</sub>):
  - 4 bloki elektrowni Bohunice (Słowacja), w tym dwa bloki staro typu WWER-440/230,
  - 2 bloki elektrowni Mochovce (Słowacja)
  - 2 bloki elektrowni Równe (Ukraina),
  - 4 bloki elektrowni Dukovany (Czechy)
  - 4 bloki elektrowni Paks (Węgry – ok. 310 km od granic Polski);
- **dwa bloki z reaktorem WWER-1000** (o mocy 1000 MW<sub>e</sub>):
  - 1 blok elektrowni Chmielnicki (Ukraina),



Rys. 11. Elektrownie jądrowe w odległości do ok. 300 km od granic Polski (w nawiasach podano liczbę czynnych reaktorów energetycznych)

- 1 blok elektrowni Równe (Ukraina);
- sześć bloków z reaktorem BWR:
  - 1 blok elektrowni Barsebeck (Szwecja) o mocy 615 MW<sub>e</sub>,
  - 3 bloki elektrowni Oskarshamn (Szwecja) – o mocach 465, 630 i 1205 MW<sub>e</sub>,
  - 1 blok elektrowni Krummel (RFN) o mocy 1315 MW<sub>e</sub>;
- dwa bloki z reaktorami RBMK:
  - 2 bloki elektrowni Ignalina (Litwa) po 1300 MW<sub>e</sub> każdy.

Na omawianym obszarze w budowie znajduje się 6 kolejnych bloków:

- 2 bloki WWER-440 elektrowni Mochovce (Słowacja),
- 1 blok WWER-1000 elektrowni Równe (Ukraina),
- 2 bloki WWER-1000 elektrowni Temelin (Czechy),
- 1 blok WWER-1000 elektrowni Chmielnicka (Ukraina),

Jedyny czynny obecnie polski reaktor MARIA w Świerku koło Otwocka o projektowej mocy nominalnej 30 MW<sub>t</sub>, ze względu na swoje cechy konstrukcyjne oraz niewielki w porównaniu z reaktorem energetycznym rdzeń, stanowi o wiele mniejsze źródło zagrożenia. Prawdopodobieństwo awarii polegającej na stopieniu rdzenia i uwolnieniu znacznych ilości substancji promieniotwórczych jest w nim bliskie zeru.

## 6. PRZYGOTOWANIE POLSKI NA WYPADEK ZDARZEŃ RADIACYJNYCH

Przedstawiona wyżej sytuacja w zakresie źródeł potencjalnego zagrożenia radiacyjnego dla ludności Polski, doprowadziła do opracowania klasyfikacji nadzwyczajnych zdarzeń radiacyjnych i stworzenia odpowiednich rozwiązań organizacyjnych na wypadek takich zagrożeń.

W ramach tej klasyfikacji wyróżnia się zdarzenia radiacyjne powodujące:

- zagrożenie ograniczone do terenu zakładu ; w takim przypadku kierownik zakładu obowiązany jest zawiadomić **Ośrodek Dyspozycyjny Służby Awaryjnej** (ODSA) powołany przez prezesa PAA w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej, pełniący dyżur 24 godziny na dobę, którego dyspozytorzy udzielają zgłaszającemu wskazówek co do dalszego postępowania, ewentualnie wysyłają ekipę na miejsce zdarzenia i zawiadamiają odpowiednie władze.

- zagrożenie publiczne o skutkach wykraczających poza teren zakładu (np. rozprzestrzenienie się skażeń promieniotwórczych poza obszar przewidziany do prowadzenia działalności ze źródłami, wypadek podczas transportu źródeł na drodze publicznej, znalezienie źródła porzuconego lub zatrzymanie źródła posiadanego nielegalnie) wymaga zawiadomienia ODSA oraz **wojewody**, i w konsekwencji w razie potrzeby także odpowiednich służb i organów lokalnych – policji, straży pożarnej, pogotowia ratunkowego, lekarza wojewódzkiego, wojewódzkiego inspektora sanitarnego, wojewódzkiego inspektora ochrony środowiska, szefa WSzW, szefa wojewódzkiego inspektoratu OC, komendanta oddziału Straży Granicznej, prokuratora wojewódzkiego.

- zagrożenie publiczne o zasięgu krajowym, tzn. nadzwyczajne zdarzenie radiacyjne, które zaszło w kraju, ale którego zasięg terytorialny przekracza lub może przekroczyć obszar jednego województwa, względnie nadzwyczajne zdarzenie radiacyjne, które zaszło poza granicami kraju, ale które może mieć skutki sięgające terenu Polski.

W przypadku ostatnim uaktywnia się **Centrum Zdarzeń Radiacyjnych „CEZAR” prezesa Państwowej Agencji Atomistyki**, które:

1) ocenia sytuację radiacyjną kraju (tę wiedzę CEZAR posiada na bieżąco, przez współpracę z krajowym punktem kontaktowym (KPK) i z centralnym ośrodkiem pomiarów skażeń promieniotwórczych (COPSP), oraz innymi służbami, które dysponują danymi potrebnymi do tej oceny, w tym służby meteorologicznej,

2) weryfikuje stwierdzenie zajścia nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego (oraz ocenę skali zagrożenia radiacyjnego),

3) prognozuje dalszy rozwój sytuacji oraz zagrożenia ludności i środowiska, przygotowując w ten sposób podstawy do sformułowania przez prezesa PAA rekomendacji podjęcia odpowiednich działań i przekazania ich, w zależności od zasięgu zagrożenia, właściwemu wojewodzie lub Radzie Ministrów,

4) przygotowuje komunikaty o zagrożeniu radiacyjnym oraz prognozach rozwoju sytuacji radiacyjnej kraju do przekazania przewodniczącemu Komitetu Zarządzania Kryzysowego oraz odpowiednie komunikaty dla ludności.

Zadania te CEZAR wykonuje przez cały czas trwania zagrożenia, o ustaniu którego decyduje prezes PAA, przy wykorzystaniu sieci wczesnego powiadamiania i monitoringu, której podstawowymi węzłami są: krajowy punkt kontaktowy, centralny ośrodek pomiarów skażeń promieniotwórczych oraz stacje i placówki pomiarowe na terenie kraju. Do określania stopnia zagrożenia na poszczególnych obszarach kraju wykorzystywane są działające w CEZAR komputerowe systemy wspomaganie decyzji, wykorzystujące modele dyspersji atmosferycznej, do których aktualne dane pogodowe dostarczają służby meteorologiczne. W oparciu o wyniki obliczeń modelowych formułowane są komunikaty o bieżącej sytuacji radiacyjnej i jej prognozie na najbliższe godziny wraz z rekomendacjami co do potrzeby i zakresu odpowiedniego reagowania, przekazywane bezpośrednio z Centrum ds. zdarzeń radiacyjnych CEZAR do Centrum operacyjnego w Urzędzie Zarządzania Kryzysowego i Ochrony Ludności.

### ***Sieć wczesnego powiadamiania i monitoringu***

**Krajowy punkt kontaktowy**, utworzony w Polsce w rezultacie przystąpienia naszego kraju do konwencji o wczesnym powiadamianiu o awarii jądrowej (ratyfikowana przez Polskę w 1988 roku), stanowi element światowego systemu informacyjno-ostrzegawczego Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. W czasie swojego całodobowego dyżuru przyjmuje z MAEA i przekazuje do Agencji wszelkie informacje o zdarzeniach przekraczających przewidziany w konwencji poziom (3 w skali INES). KPK jest również punktem kontaktowym w systemie międzyrządowych umów dwustronnych, podpisanych przez Polskę z 8 krajami w sąsiedztwie Polski (5 bezpośrednich sąsiadów: Litwa, Rosja, Białoruś, Ukraina i Słowacja, oraz Austria, Dania i Norwegia) o wczesnym powiadamianiu o awariach jądrowych i o współpracy w dziedzinie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Umowy te mogą określać inne (niższe) niż podane w konwencji progi wymagające przekazywania informacji, jak również inny (szerszy) niż przewidziany w konwencji zakres przekazywanych informacji. KPK jest więc najważniejszym elementem systemu wczesnego ostrzegania.

**Centralny Ośrodek Pomiarów Skażeń Promieniotwórczych**, utworzony w CLOR już w 1964 roku (mimo nie bardzo cywilnego pierwotnie przeznaczenia COPSP, jego funkcjonowanie pozytywnie sprawdziło się w czasie katastrofy w Czarnobylu) koordynuje system monitoringu radiologicznego Polski, a właściwie te elementy (stacje terenowe) monitoringu radiologicznego, które spełniają określone przez COPSP warunki. Niektóre ze stacji pomiarów skażeń, a zwłaszcza te, które przekazują wyniki w czasie rzeczywistym i z którymi COPSP ma interaktywną łączność, spełniają rolę stacji „wczesnego wykrywania skażeń”. Inne mierzą raczej skutki awarii, tzn. skażenia utrzymujące się przez pewien czas po zaistniałym zdarzeniu radiacyjnym; obecnie odnosi się to do skutków awarii czarnobylskiej.

Powyższe oznacza, że w zakresie każdego nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego możemy wyróżnić trzy etapy: etap przedawaryjny, kiedy pomiary środowiska określają poziom odniesienia dla późniejszych oszacowań i decyzji, następnie okres w czasie samej

awarii, kiedy sytuacja się rozwija i wymaga bieżącej analizy przebiegu awarii w obiekcie będącym źródłem zdarzenia i prognozowania rozwoju zagrożenia i wreszcie etap poawaryjny, kiedy pomiary skażeń określają kontynuację lub zakres nowych działań zapobiegawczych (np. ograniczenia w spożyciu określonych produktów). Ten trzeci okres może trwać przez dziesiątki lat, np. do tej pory znajdujemy w glebie izotopy cezu pozostałe po awarii w Czernobylu, nie mówiąc o stronczie-90, będącym pozostałością próbných wybuchów jądrowych w atmosferze.

**Sieci monitoringu radiologicznego** istniejące w Polsce mają za zadanie dostarczenie odpowiednio wczesnej informacji o odbiegającym od normalnego poziomu promieniowania (sieć wczesnego wykrywania) oraz prowadzenie pomiarów skażeń promieniotwórczych materiałów środowiskowych i artykułów spożywczych, istotnych w dłuższym okresie czasu po awarii. Krajowy system wczesnego wykrywania skażeń jest częścią państwowego systemu monitoringu radiacyjnego i składa się z kilku sieci stacji należących do różnych operatorów (rys. 12). Jednakże dane pomiarowe z wszystkich tych sieci zbierane są w jednym miejscu – właśnie w COPSP w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej, które jest organizacją naukowo-technicznego wsparcia (*Technical Support Organisation – TSO*) dla kompetentnego urzędu w tej dziedzinie jakim jest PAA.

**Sieć wczesnego wykrywania** (rys. 13) tworzą wymienione w chronologicznym porządku ich tworzenia: sieć placówek alarmowych Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej, oraz stacje pomiarów skażeń powietrza ASS-500 i automatyczne stacje PMS (*Permanent Monitoring Stations*) działające w systemie międzynarodowym państw bałtyckich, utrzymywane przez PAA i Inspekcję Ochrony Środowiska.

- **Sieć placówek IMGW**, składająca się z 9 stacji alarmowych (zlokalizowanych w Warszawie, Mikołajkach, Włodawie, Gdyni, Świnoujściu, Poznaniu, Legnicy, Zakopanem i Lesku – wykonuje ciągłe pomiary **mocy dawki promieniowania gamma, skażeń powietrza** (pomiar aktywności całkowitej beta w próbie dobowej w aerozolach atmosferycznych przy objętości przetłaczanego powietrza

10-15 m<sup>3</sup>/h i poziomie wykrywalności ok. 1 mBq/m<sup>3</sup>) oraz **opadu całkowitego** (pomiar aktywności całkowitej beta w próbie tygodniowej). Wyniki pomiarów w normalnych warunkach przekazywane są **raz dziennie przez telex i okresowo, w formie pisemnych raportów** do COPSP w CLOR. **W warunkach awaryjnych** informacje i dane transmitowane są **co godzinę**. Wyposażenie i możliwości pomiarowe tych stacji w świetle współczesnych kryteriów nie są w pełni wystarczające do celów wczesnego ostrzegania.

Metodologia oparta na pomiarach całkowitej aktywności beta nie pozwala na:

- określenie sztucznej promieniotwórczości w zebranych próbkach aerozoli i opadu,

- ciągłego pomiaru sztucznej promieniotwórczości powietrza

Dlatego też, w ciągu ostatnich lat zainstalowany został równoległy system oparty na stacjach pomiarów skażeń powietrza, wyposażonych w wysokowydajne układy przetwarzania **dużych objętości powietrza** przez filtry zbierające aerozole, rozwiniętych i udoskonalanych w CLOR (tzw. *Aerosol Sampling Stations – ASS-500*).

- **Sieć stacji ASS-500**, obejmująca 10 stacji ASS-500 zlokalizowanych w Warszawie, Świdrze, Białymstoku, Lublinie, Katowicach, Krakowie, Wrocławiu, Gdyni, Szczecinie i Sanoku wykonuje: **ciągłe zbieranie aerozoli** atmosferycznych na filtrze i **spektrometryczne oznaczanie** poszczególnych **izotopów gamma promieniotwórczych** w próbie tygodniowej.

Ich osiągalny poziom detekcji wynosi od pół do dziesiątek  $\mu\text{Bq}/\text{m}^3$  przy próbie tygodniowej. Wydajność przetwarzania aerozoli wynosi w stacjach ASS-500 od 10 do 800 m<sup>3</sup>/h, średnio 400 m<sup>3</sup>/h, do oznaczania izotopów używa się spektrometrów z detektorami germanowymi. Stacje te przesyłają dane do COPSP w CLOR w warunkach normalnych **raz na tydzień**, w warunkach **awaryjnych** – nawet **co 1-2 godziny**. Początkowo stacje te nie były połączone telemetrycznie z centrum, ale obecnie trwa wdrażanie systemu pozwalającego na automatyczne przesyłanie danych ze stacji do centralnego serwera w CLOR (prace te zostaną zakończone w roku 2000).

**PAŃSTWOWA AGENCJA ATOMISTYKI**  
**CENTRUM DS. ZDARZEŃ**  
**RADIACYJNYCH „CEZAR”**

CENTRALNE LABORATORIUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ (CLOR)  
 -----  
 CENTRALNY OŚRODEK POMIARÓW SKAŻEŃ PROMIENIOTWÓRCZYCH (COPS)

**STACJE AUTOMATYCZNE CLOR/PAA (11)**  
 moc dawki,  
 widmo promieniowania gamma w powietrzu

**PLACÓWKI ALARMOWE IMiGW (9)**  
 moc dawki,  
 skażenie powietrza beta

**STACJE MON (12)**  
 moc dawki

**STACJE OCK (25)**  
 moc dawki

**STACJE POMIAROWE SKAŻEŃ POWIETRZA ASS-500 CLOR/ PAA (10)**

**STACJE SANITARNO-EPIDEMIOLOGICZNE (49)**  
 moc dawki (a)  
 - mleko, produkty spożywcze

**ZAKŁADY HIGIENY WETERYNARYJNEJ (19)**  
 moc dawki (a)  
 - mięso, pasza, trawa

**OKRĘGOWE STACJE CHEMICZNO-ROLNICZE (14)**  
 moc dawki (a)  
 - zboża, warzywa, owoce

**PRZEDSIĘBIORSTWA WODOCIĄGÓW I KANALIZACJI (10)**  
 moc dawki (a)  
 - woda pitna, ścieki komunalne

- SIEĆ WZCZESNEGO WYKRYWANIA (SWW)
- SIEĆ POMIARÓW ŚRODOWISKOWYCH; (a) - W SYTUACJACH ZAGROŻENIA
- - - SIECI WSPOMAGAJĄCE SWW

*Rys. 12. System pomiarów skażeń promieniotwórczych*



Rys. 13. Lokalizacja stacji i placówek wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych

• Sieć stacji automatycznych PMS składa się z 11 stacji tzw. **ciągłego monitorowania** (*Permanent Monitoring Stations*) dostarczonych Polsce i zainstalowanych przez Duńską Agencję Zarządzania Kryzysowego – DEMA w ramach współpracy państw bałtyckich w dziedzinie bezpieczeństwa jądowego. Są to stacje alarmowe w pełni zautomatyzowane, zlokalizowane w tych samych miejscach co stacje ASS-500 w Gdyni, Białymstoku, Lublinie, Warszawie, Krakowie, Wrocławiu, Szczecinie i Sanoku. Pozostałe 3 stacje PMS zain-

stalowano w Olsztynie, Koszalinie i Zielonej Górze. Stacje PMS pracują w trybie on-line, mierząc w sposób ciągły:

- moc dawki promieniowania gamma z rejestracją danych pomiarowych co 1 godz. (w warunkach normalnych) oraz co 10 min. w sytuacjach awaryjnych.

- widmo promieniowania gamma powodowanego skażeniem powietrza i powierzchni ziemi – z rejestracją wyników pomiarów (co 1 godz. w sytuacji normalnej i co 10 min. w sytuacji awaryjnej).

- intensywność opadów atmosferycznych oraz temperatury otoczenia.

Dane pomiarowe przesyłane są automatycznie z komputera każdej z 11 stacji stacji za pośrednictwem modemu telefonicznego do serwerów w CLOR i w centrum CEZAR w PAA. Podobne systemy wyposażone w stacje PMS są także zainstalowane na Litwie, Łotwie, w Estonii i mają być wkrótce uruchomione w rejonie St. Petersburga w Rosji. Dzięki wspólnej inicjatywie tych państw podjętej na forum Rady Państw Morza Bałtyckiego (RPMB) stworzono już odpowiednie warunki techniczne i organizacyjne, by zapewnić wzajemny ciągły dostęp do danych pomiarowych ze stacji, zbieranych w centralnych serwerach w każdym z wymienionych krajów posiadających stacje PMS, co dzięki odpowiedniemu wielostronnemu porozumieniu umożliwi Polsce natychmiastowy dostęp do bieżących danych ze stacji zlokalizowanych w innych krajach.

W eksploatacji systemów wczesnego ostrzegania w Polsce rozróżnia się cztery następujące poziomy działania:

- normalny (w normalnej sytuacji),
- podwyższonej gotowości (jeśli występuje możliwość wzrostu poziomu skażeń),
- awaryjny (jeśli mierzone wartości przekraczają ustalone poziomy awaryjne),
- poawaryjny.

W sytuacji zagrożenia radiacyjnego (poziom awaryjny), wyniki pomiarów będą transmitowane ze stacji alarmowych i stacji ASS-500 do centrum CEZAR w PAA co 1-2 godziny. Obecnie zaawansowane są prace nad zintegrowaniem systemów duńskich stacji PMS i ulep-

szonych polskich stacji ASS-500 + AS01, (tam gdzie są one zlokalizowane obok siebie w jednym miejscu) w jeden nowoczesny w pełni zautomatyzowany system wczesnego ostrzegania.

Sieć wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych wspomaganą jest przez:

- **dwanaście stacji pomiarowych Ministerstwa Obrony Narodowej** (stacje MON) zlokalizowanych na terenach jednostek wojskowych, które wykonują ciągłe pomiary mocy dawki promieniowania gamma. Wyniki pomiarów przesyłane są automatycznie do Centralnego Ośrodka Analizy Skażeń (COAS) w Szefostwie Wojsk Obrony Przeciwichemicznej Dowództwa Wojsk Lądowych, a następnie poprzez Inspekcję Ochrony Środowiska (IOŚ) – do COPSP.

- **dwadzieścia pięć stacji pomiarowych Obrony Cywilnej Kraju** (stacje OC) przy Wojewódzkich Inspektoratach Obrony Cywilnej, które wykonują ciągłe pomiary mocy dawki promieniowania gamma. Wyniki przesyłane są do Sztabu Obrony Cywilnej Kraju (OCK) w Warszawie, a w przypadkach awaryjnych – do COPSP.

Działalność wymienionych stacji – funkcjonujących na odrębnych zasadach – nadzorowana jest odpowiednio: przez COAS oraz Sztab OCK.

Należy zaznaczyć, że zgodnie z art.23 ust. 2 ustawy z dnia 20 lipca 1991 r. o Inspekcji Ochrony Środowiska (Dz. U. nr 77 poz. 335, z późniejszymi zmianami), istniejący w Polsce system Państwowego Monitoringu Środowiska (PMS), koordynowany przez Głównego Inspektora Ochrony Środowiska, obejmuje monitorowanie wszystkich elementów skażających środowisko, a więc i skażeń promieniotwórczych. W takim ujęciu obecnie działająca sieć wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych, zorganizowana w oparciu o wspomnianą uchwałę Rady Ministrów nr 265/64 i funkcjonująca w celu wykonania zadań PAA wynikających z § 2 p. 5 rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 23 lutego 1987 roku w sprawie szczegółowego zakresu działania PAA i prezesa PAA, stanowi podsystem Państwowego Monitoringu Środowiska. W szczególności 10 stacji ASS-500 (z których 5 należy do Inspekcji Ochrony Środowiska), jako wysokoczułe stacje pomiaru aktywności powietrza, 11 automatycznych stacji PMS działają

cych w resorcie atomistyki oraz 9 stacji alarmowych należących do Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej - jako stacje wczesnego wykrywania skażeń, stanowią zasadniczy element sieci monitoringu skażeń w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska. W sieci tej pracuje również 12 stacji resortu obrony zlokalizowanych na terenie jednostek wojskowych.

**Sieć pomiarów skażeń promieniotwórczych materiałów środowiskowych i artykułów spożywczych** (rys. 14) tworzą stacje sanitaro-epidemiologiczne, stacje pomiarowe Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi oraz inne placówki pomiarowe.

*Stacje Sanitaro-Epidemiologiczne (SSE)* to szesnaście stacji wojewódzkich oraz trzydzieści trzy oddziały zamiejscowe podległe właściwym wojewódzkim inspektorom sanitarnym, które wykonują:

- pomiary całkowitej aktywności beta mleka (raz na miesiąc) i w produktach spożywczych (raz na kwartał),
- oznaczanie zawartości określonych radionuklidów (Cs-137, Cs-134, Sr-90) w wybranych produktach spożywczych (średnio dwa razy w roku),
- ciągły pomiar mocy dawki promieniowania gamma.

*Stacje pomiarowe Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW)* to czternaście Okręgowych Stacji Chemiczno-Rolniczych, które wykonują pomiary całkowitej aktywności beta podstawowych gatunków zbóż (raz w roku), warzyw (raz w miesiącu w okresie wegetacji warzyw zielonych lub dwa razy w roku w przypadku warzyw korzeniowych), owoców (jeden lub dwa razy) oraz dziewiętnaście Zakładów Higieny Weterynaryjnej, które wykonują pomiary całkowitej aktywności beta mięsa (raz na kwartał, pasz oraz trawy (raz na dwa miesiące w okresie wegetacji), a także oznaczają Cs-137 w wybranych próbkach.

Poza wymienionymi sieciami istnieją również placówki pomiarowe zlokalizowane w jednostkach naukowo-badawczych różnych resortów oraz w niektórych wyższych uczelniach wykonujące specjalistyczne pomiary radiometryczne i dozymetryczne uzupełniające pomiary prowadzone przez SPSP, a w szczególności:



- Stacje Sanitarно-Epidemiologiczne
- Zakłady Higieny Weterynaryjnej
- Okręgowe stacje Chemiczno-Rolnicze
- ▲ Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji

Rys. 14. Rozmieszczenie stacji pomiarów skażeń promieniotwórczych materiałów środowiskowych i artykułów spożywczych

- laboratoria Państwowego Zakładu Higieny wykonujące oznaczenia izotopów promieniotwórczych w artykułach spożywczych,
- laboratoria Instytutu Energii Atomowej w Świerku wykonujące oznaczenia zawartości izotopów promieniotwórczych w próbkach środowiskowych pobranych z Ośrodka w Świerku i KSOP w Różanie.

Nadzór nad systemem kontroli skażeń promieniotwórczych w kraju sprawuje Dep. Bezpieczeństwa Jądrowego i Radiacyjnego PAA, który również przygotowuje okresowe raporty oceniające sytuację radiacyjną w kraju.

PAA dysponuje także nowoczesnym ruchomym laboratorium na samochodzie terenowym pozwalające na szybki zautomatyzowany pomiar i ocenę skażeń na wybranym terenie.

#### *Służba meteorologiczna*

Instytut Meteorologii i Gospodarki Wodnej (IMGW), zlokalizowany w resorcie ochrony środowiska (MOŚZNiL), odpowiada za utrzymanie i funkcjonowanie sieci dostarczającej danych meteorologicznych dla Polski. W kraju działają 62 stacje mierzące główne parametry meteorologiczne (takie jak wiatr, ciśnienie, wilgotność, temperatury, opady). Pierwotne dane zmierzone w tych stacjach przesyłane są teleksowo do 9 lokalnych biur prognoz. Te biura prognoz łącznie z centralnym punktem systemu telekomunikacyjnego, zlokalizowanym w IMiGW tworzą podstawową sieć meteorologiczną, tzw. METPAK, używającą dedykowanych łączy telekomunikacyjnych do przekazywania danych. Punkt centralny w IMiGW (*Central Telecommunication Node – CTN*) wyposażony jest w specjalistyczny sprzęt łączności i jest połączony ze światowym systemem obserwacji pogodowych (*World Weather Watch System*) Światowej Organizacji Meteorologicznej (*WMO*). Połączenia te umożliwiają otrzymywanie danych z kilku tysięcy stacji synoptycznych a także z lokalnych ośrodków prognoz pracujących w systemie WMO. Polska transmituje do systemu WMO pierwotne dane pogodowe z 17 stacji, niemniej w sieci METPAK dostępne są dane ze wszystkich stacji. Zarówno centrum CEZAR jak i COPSP mają komputerowy dostęp do danych meteorologicznych METPAK przy pomocy modemów telefonicznych.

#### *Systemy wspomagania decyzji*

W ramach dwustronnego porozumienia pomiędzy Danią i Polską o współpracy i pomocy technicznej w dziedzinie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, w centrum CEZAR w PAA oraz

w CLOR zainstalowany został duński komputerowy system wspomaganie decyzji ARGOS, z przeznaczeniem do wykorzystywania go do celów wspomaganie decyzji i zarządzania kryzysowego w sytuacjach awarii jądrowych i radiacyjnych. System ten sprzężony jest z automatycznym systemem stacji PMS, dostarczającym dane on-line, oraz wykorzystuje dane meteorologiczne, obejmujące terytorium Polski i sąsiednie kraje, dostarczane również on-line w odpowiednim, przystosowanym do tego systemu formacie HIRLAM. Porozumienie wielostronne, o którym już wcześniej wspomniano, przygotowane w ramach prac grupy roboczej ds. bezpieczeństwa jądrowego i radiacyjnego Rady Państw Morza Bałtyckiego (RPMB), umożliwi podobny dostęp on-line do stacji PMS pracujących w sieci dostosowanej do współpracy z systemem ARGOS, zlokalizowanych poza granicami Polski – m.in. w pobliżu elektrowni jądrowych z reaktorami RBMK w Ignalinie i Sosnowym Borze.

Od kilku lat Polska uczestniczy także w pracach nad międzynarodowym projektem badawczym RODOS, którego celem jest opracowanie i wdrożenie systemu wspomaganie decyzji, który stałby się pewnego rodzaju standardem oficjalnie obowiązującym w skali europejskiej. Jest to projekt realizowany wspólnie przez ok. 20 instytucji w krajach Unii Europejskiej współpracujących z odpowiednimi instytucjami w krajach byłego ZSRR i Europy Środkowej i Wschodniej przy wsparciu Komisji Europejskiej (KE). realizowanym w ramach Programu Badawczego Ochrony Radiologicznej koordynowanego przez DG XII KE i niemieckie Ministerstwo Ochrony Środowiska i Bezpieczeństwa Jądrowego. W oparciu o dostęp do lokalnych i krajowych danych z monitoringu radiacyjnego i sieci informacji o danych radiologicznych oraz prognoz zmian sytuacji meteorologicznej, system ten wykonuje dokładne prognozy rozwoju sytuacji radiologicznej w otoczeniu miejsca uwolnienia substancji promieniotwórczych jak również w dalszej okolicy, zarówno tuż po zajściu zdarzenia jak i w większym przedziale czasu. W ramach tych prac podstawowe wyposażenie komputerowe wraz z odpowiednią platformą oprogramowania działa od kilku lat w Instytucie Energii Atomowej (IEA) w Świerku. Od połowy 1999 r. realizowany jest roczny kontrakt

w ramach projektu pilotowego Komisji Europejskiej ECHO/RODOS dla Polski i Słowacji, dzięki któremu nowe wyposażenie do RODOS'a, obejmujące m.in. centralny serwer i terminale użytkowników interaktywnych oraz systemy transmisji danych zostały zainstalowane odpowiednio: w centrum CEZAR – PAA oraz w Instytucie Meteorologii i Gospodarki Wodnej, CLOR i IEA. Wersja pilotowa i operacyjna systemu RODOS została zainstalowana i uruchomiona w ramach kontraktu w pierwszej połowie roku 2000.

CLOR w Warszawie prowadzi również współpracę z Niemcami w zakresie systemu zintegrowanych pomiarów i wymiany informacji (IMIS), który jest wykorzystywany w Niemczech. System IMIS zawiera moduły, które mogą być wykorzystywane do modelowania dla celów wspomagania decyzji. Pomędzy zespołami rozwijającymi systemy ARGOS, RODOS i IMIS istnieje bliska współpraca.

Prawidłowe i efektywne wykorzystanie omawianych systemów, szczególnie w warunkach napięcia wywołanego sytuacją kryzysową, wymaga dobrego wyszkolenia operujących nimi operatorów oraz ekspertów interpretujących wyniki i formułujących rekomendacje. Specjaliści z PAA, CLOR i IEA od szeregu lat współpracują na arenie międzynarodowej z zespołami rozwijającymi te systemy przy ich doskonaleniu i rozwoju. Podlegają oni corocznym cyklicznym szkoleniom, biorą udział w kursach, seminariach, warsztatach i ćwiczeniach, organizują także szkolenia specjalistyczne dla zainteresowanych w kraju, przede wszystkim tzw. użytkowników interaktywnych – tj. takich, którzy współpracują przy dostarczaniu danych oraz innych – którzy są odbiorcami wyników.

Oprócz wymienionych wyżej nowoczesnych, rozbudowanych systemów wspomagania decyzji CEZAR dysponuje także stosunkowo prostymi programami obliczeniowymi, pozwalającymi na wykonanie w stosunkowo krótkim czasie – rzędu kilku minut – zgrubnej oceny sytuacji w promieniu do kilkudziesięciu kilometrów od miejsca awarii w oparciu o pierwsze, zwykle bardzo skąpe i niepewne dane. Dysponuje także bazami danych, w których gromadzone są informacje przydatne i szybko dostępne w takich sytuacjach.

## 7. PODSUMOWANIE

Opisane wyżej przygotowanie naszego kraju na wypadek zaistnienia nadzwyczajnego zdarzenia radiacyjnego funkcjonuje dość sprawnie, co wykazują okresowo przeprowadzane testy i ćwiczenia, niezależnie od jeszcze nieuregulowanej do końca sytuacji prawnej w tym zakresie. Istniejący w PAA i nadal rozwijany system oceny sytuacji radiacyjnej kraju, powiązany z jednej strony z międzynarodowym systemem wczesnego ostrzegania a z drugiej strony z systemem reagowania kryzysowego kraju, stworzą warunki do skutecznego zabezpieczenia ludności kraju przed skutkami ewentualnej dużej awarii jądrowej w sposób zgodny z międzynarodowymi wymaganiami, wg uzgodnionych międzynarodowo kryteriów (poziomów interwencyjnych).

Istniejący, scentralizowany w PAA system oceny sytuacji radiacyjnej kraju stanowi rozwiązanie w pełni uwzględniające rodzaj i charakter potencjalnych zagrożeń radiacyjnych tj. niskie prawdopodobieństwo dużej awarii w istniejących wokół Polski elektrowniach jądrowych (ze względu na inne niż RBMK typy eksploatowanych w nich reaktorów – PWR/WWER oraz BWR – z wyjątkiem EJ Ignalino, oraz ze względu na znaczne podniesienie bezpieczeństwa ich eksploatacji dokonane pod nadzorem i z pomocą międzynarodową, dokonane od czasu awarii w Czarnobylu), a także – stosunkowo dużą odległość (powyżej 100 km) ich lokalizacji od granic Polski. Najbliższa elektrownia jądrowa z bezpiecznym reaktorem wodno-ciśnieniowym EJ Dukowany położona jest w Czechach 122 km od naszej południowej granicy, najbliższa z reaktorami RBMK – w Ignalinie na Litwie – oddalona jest od naszej granicy o 250 km. Takie odległości, nawet przy bardzo poważnej awarii i niekorzystnej sytuacji meteorologicznej, pozostawiają, przy istniejącym, bardzo sprawnie działającym systemie wczesnego ostrzegania, odpowiednio dużo czasu na przeprowadzenie symulacji komputerowych i określenie spodziewanego zagrożenia, które nawet dla obszarów naszego kraju położonych najbliżej od miejsca awarii najprawdopodobniej nie bę-

dzie wymagało nawet profilaktyki jodowej, nie mówiąc już o ewakuacji. Prognozy skażeń będą zresztą podlegały weryfikacji przy pomocy istniejących systemów pomiarów skażeń w tym także ruchomego laboratorium.

Co do innych zagrożeń radiacyjnych mogących wystąpić na terenie kraju, zasadą jest reagowanie lokalne na miejscu zdarzenia – w zakładzie stosującym źródła promieniowania lub przez przewoźnika takich źródeł – z doradztwem i pomocą wyspecjalizowanych służb (ODSA-PAA) oraz wsparciem lokalnym innych służb państwowych (właściwego wojewody, policji, straży pożarnej, służby granicznej, UOP, służb medycznych). PAA współpracuje na mocy podpisanych porozumień z odpowiednimi komendami głównymi i szefostwami tych służb, a także z Centralnym Ośrodkiem Analizy Skażeń Wojsk Obrony Przeciwchemicznej.

Spodziewane wejście w życie przed końcem roku 2000 nowej ustawy prawo atomowe ureguluje w sposób jednoznaczny i zgodny z wymaganiami Unii Europejskiej sprawy ochrony radiologicznej łącznie z reagowaniem na nadzwyczajne zdarzenia radiacyjne.

## BIBLIOGRAFIA

1. *Atomistyka oraz bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna w Polsce w 1999 roku*. Prezes Państwowej Agencji Atomistyki, Warszawa 2000.
2. W. Paile, *Health effects of ionizing radiation*, STUK, NATO Seminar on disaster relief during a radiological emergency, Helsinki, Jan. 2000.
3. J. Laaksonen, *Risk assessment: situations which might have an impact on the radiation safety of the population and the environment*, STUK, NATO seminar on disaster relief during a radiological emergency, Helsinki, Jan. 2000.
4. *Planning the medical response to radiological accidents*, IAEA Safety Report Series No.4, Vienna 1998.
5. *Radiation Safety*, IAEA Division of Public Information, Vienna 1996.
6. D. Grabowski, E. T. Józefowicz, J. Liniecki, *Awaria czarnobylska – skutki zdrowotne w Polsce*, Raport PTN-4/1999, Warszawa 1999.
7. M. Jurkowski, J. Niewodniczański, *Nadzwyczajne zdarzenia radiacyjne*, Materiały sympozjum: Powszechny System Ochrony Ludności, CNBOP, Warszawa czerwiec 1998.

## SPIS TABEL I RYSUNKÓW

### Tabele :

1. Jednostki organizacyjne prowadzące działalność związaną z wykorzystywaniem energii atomowej.
2. Średnie stężenia radionuklidów w glebie w poszczególnych województwach, w 1999 r.
3. Aktywność beta opadu całkowitego w latach 1959-1999 (wg danych Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej zebranych w ramach Państwowego Monitoringu Środowiska.)

### Rysunki:

1. Umieszczenie Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych CEZAR w systemie PAA i powiązanie z instytucjami zewnętrznymi .
2. System PAA – powiązania zewnętrzne z systemem zarządzania kryzysowego i źródłami danych i informacji.
3. Średnie roczne efektywne równoważniki dawki otrzymane w 1999 r. przez statystycznego mieszkańca Polski od różnych źródeł promieniowania jonizującego (3,30 mSv).
4. Udział różnych źródeł promieniowania jonizującego w średniorocznym efektywnym równoważniku dawki otrzymanej przez statystycznego mieszkańca Polski w 1999 r.
5. Średnia roczna podaż z żywnością Cs-134, Cs-137 i Sr-90 w Polsce w latach 1985-1999.
6. Profil średnich wiatrów dla szer. geogr. 50° (opracowano według uogólnionego schematu Battena).
7. Średnie roczne dawki efektywne na statystycznego mieszkańca od naturalnych źródeł promieniowania jonizującego w różnych krajach Europy.
8. Wartości dawek granicznych, wartości limitów wymagających interwencji i przedziały wartości stosowanych w praktyce limitów użytkowych i roboczych oraz optymalnych zakresów ochrony dla ludności i pracowników narażonych zawodowo na promieniowanie.
9. Przekrój pionowy budynku reaktora RBMK i maszynowni.
10. Schemat barier izolujących rdzeń reaktora PWR od środowiska.

11. Elektrownie jądrowe w odległości od ok. 300 km od granic Polski (w nawiasach podano liczbę czynnych reaktorów energetycznych).

12. System pomiarów skażeń promieniotwórczych.

13. Lokalizacja stacji i placówek wczesnego wykrywania skażeń promieniotwórczych.

14. Rozmieszczenie stacji pomiarów skażeń promieniotwórczych materiałów środowiskowych i artykułów spożywczych.

**ZDARZENIA RADIACYJNE O POWAŻNYCH KONSEKWENCJACH DLA  
ZDROWIA I ŻYCIA PRACOWNIKÓW I OGÓŁU LUDNOŚCI (1945-1997)  
W PRZEMYSŁE JĄDROWYM, W INNYCH GAŁĘZIACH PRZEMYSŁU  
ORAZ W ZASTOSOWANIACH PROMIENIOWANIA  
W NAUCE I MEDYCYNIE.**

Rok	Miejsce zdarzenia	Źródło narażenia	Dawka (lub wniknięta aktywność)	Ilość osób znacząco <sup>a</sup> napromieniowanych	Ilość zgonów
1945-1946	Los Alamos, USA	krytyczność	do 13 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	10	2
1952	Argonne, USA	krytyczność	0.1-1.6 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	3	-
1953	ZSRR	reaktor badawczy	3.0-4..5 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	2	-
1955	Melbourne, Australia	Co-60	nieznana	1	-
1955	Hanford, USA	Pu-239	nieznana	1	-
1958	Oak Ridge, USA	krytyczność (zakład Y12)	0.7-3.7 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	7	-
1958	Vinča, Jugosławia	reaktor badawczy	2.1-4.4 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	8	1
1958	Los Alamos, USA	krytyczność	0.35-45 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	3	1
1959	Johannesburg, RPA	Co-60	nieznana	1	-
1960	USA	wiązka elektronów	7.5 Gy (lokalnie)	1	-
1960	Madison, USA	Co-60	2.5-3 Gy	1	-
1960	Lockport, USA	promienie X (rentgen)	< 12 Gy, niejednorodnie	6	-
1960	ZSRR	Cs-137 (samobójstwo)	około 15 Gy	1	1
1960	ZSRR	bromek radu (drogą pokarmową)	74 MBq	1	1 (po 4 latach)
1961	ZSRR	Awaria łodzi podwodnej	10-50.0 Gy	>30	8
1961	Miamisburg, USA	Pu-238	Nieznane	2	-
1961	Miamisburg, USA	Po-210	Nieznane	4	-
1961	Szwajcaria	H-3	3 Gy	3	1
1961	Idaho Falls, USA	eksplozja w reaktorze	do 3.5 Gy	7	3
1961	Plymouth, W. Brytania	promieniowanie X (rentgen)	Lokalne przekroczenie	11	-
1961	Fontenay-aux-Roses, France	Pu-239	nieznane	1	-
1962	Richland, USA	krytyczność	nieznane	2	-
1962	Hanford, USA	krytyczność	0.2-1.1 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	3	-
1962	Mexico City, Meksyk	kapsuła z Co-60	9.9-52 Sv	5	4
1962	Moscow, ZSRR	Co-60	3.8 Gy (niejednorodnie)	1	-

Rok	Miejsce zdarzenia	Źródło narażenia	Dawka (lub wniknięta aktywność)	Ilość osób znacząco <sup>a</sup> napromieniowanych	Ilość zgonów
1963	Chiny	Co-60	0.2-80 Gy	6	2
1963	Saclay, Francja	wiązka elektronów	nieznane (lokalnie)	2	-
1964	RFN	H-3	10 Gy	4	1
1964	Rhode Island, USA	krytyczność	0.36 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	4	1
1964	New York, USA	Am-241	nieznane	2	-
1965	Rockford, USA	akcelerator	>3 Gy (lokalnie)	1	-
1965	USA	dyfraktometr	nieznane (lokalnie)	1	-
1965	USA	spektrometr	nieznane (lokalnie)	1	-
1965	Mol, Belgia	reaktor badawczy	5 Gy (na całe ciało)	1	-
1966	Portland, USA	P-32	nieznane	4	-
1966	Leechburg, USA	Pu-235	nieznane	1	-
1966	Pennsylvania, USA	Au-198	nieznane	1	1
1966	Chiny	„strefa skażona”	2-3 Gy	2	-
1966	ZSRR	reaktor badawczy	3.0-7.0 Gy (na całe ciało)	5	-
1967	USA	Ir-192	0.2 Gy 50 Gy (lokalnie)	1	-
1967	Bloomsburg, USA	Am-241	nieznane	1	-
1967	Pittsburgh, USA	akcelerator	1-6 Gy	3	-
1967	Indie	Co-60	80 Gy (lokalnie)	1	-
1967	ZSRR	rentgen do diagnostyki medycznej	50.0 Gy (głowa, lokalnie)	1	1 (po 7-miu latach)
1968	Burbank, USA	Pu-239	nieznane	2	-
1968	Wisconsin, USA	Au-198	nieznane	1	1
1968	RFN	Ir-192	1 Gy	1	-
1968	La Plata, Argentyna	Cs-137	lokalnie 0.5 Gy (w przeliczeniu na całe ciało)	1	-
1968	Chicago, USA	Au-198	4-5 Gy (szpik kostny)	1	1
1968	Indie	Ir-192	130 Gy (lokalnie)	1	-
1968	ZSRR	reaktor badawczy	1.0-1.5 Gy	4	-
1968	ZSRR	urządzenie do napromieniowań Co-60	1.5 Gy (lokalnie, głowa)	1	-
1969	Wisconsin, USA	Sr-85	Nieznane	1	-
1969	ZSRR	reaktor badawczy	5.0 Sv (na całe ciało) niejednorodnie	1	-
1969	Glasgow, W. Brytania	Ir-192	0.6 Gy	1	-
1970	Australia	promieniowanie X (rentgen)	4-45 Gy (lokalnie)	2	-
1970	Des Moines, USA	P-32	nieznane	1	-
1970	USA	spektrometr	nieznane (lokalnie)	1	-
1970	Erwin, USA	U-235	nieznane	1	-
1971	Newport, USA	Co-60	30 Gy (lokalnie)	1	-
1971	W. Brytania	Ir-192	30 Gy (lokalnie)	1	-

Rok	Miejsce zdarzenia	Źródło narażenia	Dawka (lub wniknięta aktywność)	Ilość osób znacząco <sup>a</sup> napromieniowanych	Ilość zgonów
1971	Japonia	Ir-192	0.2-1.5 Gy	4	-
1971	Oak Ridge, USA	Co-60	1.3 Gy	1	-
1971	ZSRR	reaktor badawczy	7.8; 8.1 Sv	2	-
1971	ZSRR	reaktor badawczy	3.0 Gy (na całe ciało)	3	-
1972	Chicago, USA	Ir-192	100 Gy (lokalnie)	1	-
1972	Peach Bottom, USA	Ir-192	300 Gy (lokalnie)	1	-
1972	RFN	Ir-192	0.3 Gy	1	-
1972	Chiny	Co-60	0.4-5.0 Gy	20	-
1972	Bułgaria	pastylki z Cs-137 (samobójstwo)	>200 Gy (lokalnie, klatka piersiowa)	1	1
1973	USA	Ir-192	0.3 Gy	1	-
1973	W. Brytania	Ru-106	nieznane	1	-
1973	Czechosłowacja	Co-60	1.6 Gy	1	-
1974	Illinois, USA	spektrometr	2.4-48 Gy (lokalnie)	3	-
1974	Parsippany, USA	Co-60	1.7- Gy	1	-
1974	Środkowy Wschód	Ir-192	0.3 Gy	1	-
1975	Brescia, Włochy	Co-60	10 Gy	1	1
1975	USA	Ir-192	10 Gy (lokalnie)	1	-
1975	Columbus, USA	Co-60	11-14 Gy (lokalnie)	6	-
1975	Irak	Ir-192	0.3 Gy	1	-
1975	ZSRR	Cs-137 ( urządzenie do napromieniowań)	3-5 Gy (na całe ciało)+ +>30 Gy (ręce)	1	-
1975	NRD	reaktor badawczy	20-30 Gy (lokalnie)	1	-
1975	RFN	promieniowanie X (rentgen)	30 Gy (ręce)	1	-
1975	RFN	promieniowanie X (rentgen)	1 Gy (na całe ciało)	1	-
1976	Hanford, USA	Am-241 wniknięcie	>37 MBq	1	-
1976	USA	Ir-192	37.2 Gy (lokalnie)	1	-
1976	Pittsburgh, USA	Co-60	15 Gy (lokalnie)	1	-
1976	Rockaway, USA	Co-60	2 Gy	1	-
1977	Pretoria, RPA	Ir-192	1.2 Gy	1	-
1977	Denver, USA	P-32	nieznane	1	-
1977	ZSRR	Co-60 urządzenie do napromieniowań	4 Gy (na całe ciało)	1	-
1977	ZSRR	akcelerator protonów	10.0-30.0 Gy (ręce)	1	-
1977	W. Brytania	Ir-192	0.1 Gy + (lokalnie)	1	-
1977	Peru	Ir-192	0.9-2.0 (na całe ciało) -160(rece)	3	-
1978	Argentyna	Ir-192	12-16 Gy (lokalnie)	1	-
1978	Algeria	Ir-192	do 13 Gy (dla najbardziej napromienionej osoby)	7	1
1978	W. Brytania	-	-	1	-
1978	ZSRR	akcelerator elektronów	20 Gy (lokalnie)	1	-

Rok	Miejsce zdarzenia	Źródło narażenia	Dawka (lub wniknięta aktywność)	Ilość osób znacząco napromieniowanych	Ilość zgonów
1979	California, USA	Ir-192	do 1 Gy	5	-
1980	ZSRR	urządzenie do napromieniowań Co-60	50.0 Gy (lokalnie, nogi)	1	-
1980	RFN	promieniowanie X (rentgen)	15-30 Gy (ręce)	1	-
1980	RFN	urządzenie do radiografii	23 Gy (ręce)	1	-
1980	Chiny	Co-60	5 Gy (lokalnie)	1	-
1981	Saintes, Francja	Co-60 napromieniowanie medyczne	>25 Gy	3	-
1981	Oklahoma, USA	Ir-192	nieznane	1	-
1982	Norwegia	Co-60	22 Gy	1	1
1982	Indie	Ir-192	35 Gy lokalnie	1	-
1983	Constitu, Argentyna	krytyczność	43 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	1	1
1983	Meksyk	Co-60	0.25-5.0 Sv ( narażenie rozciągnięte w czasie )	10	-
1983	Iran	Ir-192	20 Gy (ręce)	1	-
1984	Maroko	Ir-192	nieznane	11	8
1984	Peru	promieniowanie X (rentgen)	510 Gy (lokalnie)	6	-
1985	Chiny	akcelerator elektronów	nieznane (lokalnie)	2	-
1985	Chiny	Au-198 (błąd w terapii)	nieznane, wewnętrzne	2	1
1985	Chiny	Cs-137	8-10 Sv (niejednorazowo)	3	-
1985	Brazylia	Źródło do radiografii	410 Sv (lokalnie)	1	-
1985	Brazylia	Źródło do radiografii	160 Sv (lokalnie)	2	-
1985-1986	USA	Akcelerator	nieznane	3	2
1986	Chiny	Co-60	2-3 Gy	2	-
1986	Czarnobyl, ZSRR	elektrownia jądrowa	1-16 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	134	28 (+ 2 nie związane z promieniowaniem)
1987	Goiania, Brazylia	Cs-137	do 7 Gy (promieniowanie mieszane <sup>b</sup> )	(50) <sup>c</sup>	4
1987	Chiny	Co-60	1.0 Gy	1	-
1989	Salwador	Co-60 urządzenie do napromieniowań	3-8 Gy	3	1
1990	Izrael	Co-60 urządzenie do napromieniowań	> 12 Gy	1	1

Rok	Miejsce zdarzenia	Źródło narażenia	Dawka (lub wniknięta aktywność)	Ilość osób znacząco <sup>a</sup> napromieniowanych	Ilość zgonów
1990	Hiszpania	akcelerator do radioterapii	nieznane	27	11 <sup>7d</sup>
1991	Nieśwież, Białoruś	Co-60 urządzenie do napromieniowań	10 Gy	1	1
1991	USA	akcelerator	>30 Gy (ręce i nogi)	1	-
1992	Wietnam	akcelerator	20-50 Gy (ręce)	1	-
1992	Chiny	Co-60	>0.25-10 Gy	8	3
1992	USA	Ir-192 brachyterapia	>1000 Gy (lokalnie)	1	1
1994	Tammiku, Estonia	źródło Cs-137 ze składowiska odpadów promieniotwórczych	1830 Gy (udo) + 4 Gy (całe ciało)	3	1
1996	Kostaryka	radioterapia	nieznane	110	40 <sup>7d</sup>
1996	Gilan, Iran	Ir-192 radiografia	3 Gy? (całe ciało) + 50 Gy? (klatka piersiowa)	1	-
1997	Tbilisi, Gruzja	źródła Cs-137 na poligonie wojskowym	10-30 Gy na różne niewielkie obszary ciała	11	-
1997	Kremlev, Sarov Federacja Rosyjska	ekperyment krytyczny	5-10 Gy (na całe ciało) + 200-250 Gy (na ręce)	1	1

<sup>a</sup>  $\geq 0.25$  Sv na całe ciało, organy wytwarzające krwinki lub inne krytyczne organy;  $\geq 6$  Gy lokalnie na skórę;

$\geq 0.75$  Gy na inne tkanki lub organy od źródła zewnętrznego, albo przekroczenie połowy rocznego limitu wniknięcia (*annual limit on intake - ALI*).

<sup>b</sup> Promieniowanie mieszane to występujące jednocześnie różne rodzaje promieniowania (o różnych wartościach LET), takie jak neutrony z promieniowaniem gamma, albo promieniowanie gamma łącznie z promieniowaniem beta.

<sup>c</sup> Ilość osób, które otrzymały dawki powyżej dopuszczalnych limitów jest prawdopodobnie mniejsza (niektóre z 50 skażonych osób otrzymały dawki nieprzekraczające 0.25 Sv).

<sup>d</sup> Ilość zgonów bezpośrednio wywołanych promieniowaniem jest ciągle badana; najprawdopodobniej nie przekracza 10.

**KRYTERIA RADIOLOGICZNE PODEJMOWANIA DZIAŁAŃ  
WE WCZESNEJ I POŚREDNIEJ FAZIE AWARII, MAJĄCYCH NA CELU  
OCHRONĘ LUDZI PRZED PROMIENIOWANIEM JONIZUJĄCYM**

**I. Wczesna faza awarii <sup>1)</sup>**

L.p.	Dawka <sup>1)</sup> promieniowania jonizującego wyrażona w mSv lub mGy		Proponowane działania
	Dla całego ciała <sup>2)</sup>	Dla płuc <sup>3)</sup> , tarczycy i pojedynczych narzą- dów szczególnie nara- żonych	
(1)	(2)	(3)	(4)
1	5-50 <sup>4)</sup>	50-500	ukrycie w budynkach
2	-	50-500 <sup>5)</sup>	Podanie stabilnego jodu
3	50-500	500-5000	ewakuacja

**II. Pośrednia faza awarii <sup>6)</sup>**

L.p.	Równoważnik dawki obciążającej w pierw- szym roku, wyrażony w mSv		Proponowane działania
	Dla całego ciała	Dla pojedynczych szczególnie narażo- nych narządów	
(1)	(2)	(3)	(4)
1	5-50 <sup>4)</sup>	50-500	Kontrola produktów żyw- nościowych i wody pitnej
2	50-500	nie określa się	przesiedlenie

Objaśnienia:

- 1) Wczesna faza awarii obejmuje okres od chwili stwierdzenia możliwości wystąpienia zagrożenia radiologicznego do zakończenia uwalniania radionuklidów i ich osadzania; czas trwania fazy może wynieść, w zależności od charakteru awarii, od paru godzin do kilku dni; w razie braku danych, zaleca się przyjmowanie do szacowania przewidywanych dawek okresu jednego tygodnia.
- 2) W razie gdy poszczególne organy lub tkanki są napromieniowane małymi dawkami, powinien być także obliczany efektywny równoważnik dawki i porównywany z dawką dla całego ciała.
- 3) W razie występowania dużych dawek promieniowania alfa należy pomnożyć dawkę pochłoniętą wyrażoną w mGy przez współczynnik względnej skuteczności biologicznej (WSB); zaleca się przyjmowanie wartości WSB równej 10.
- 4) Lub efektywny równoważnik dawki.
- 5) Wyłącznie tarczycę.
- 6) Pośrednia faza awarii rozpoczyna się po zakończeniu procesu osadzania się radionuklidów na powierzchni ziemi i może trwać, w zależności od charakteru awarii, od kilku dni aż do roku.

**WARTOŚCI POZIOMÓW INTERWENCYJNYCH ORAZ DZIAŁANIA  
INTERWENCYJNE NA WYPADEK ZAGROŻENIA RADIACYJNEGO  
(WG PROJEKTU NOWEJ USTAWY PRAWO ATOMOWE)**

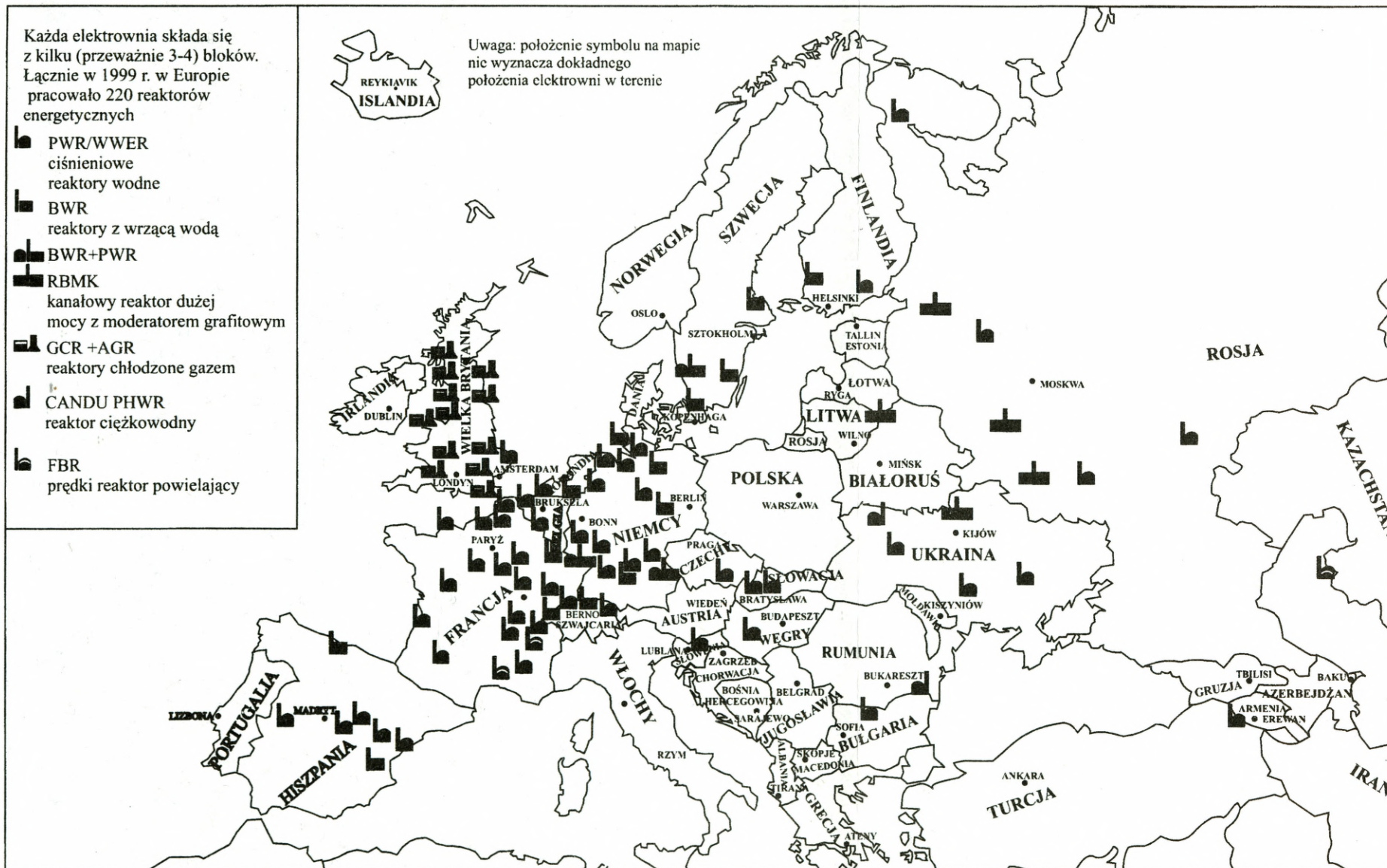
**Krótkoczasowe (pilne) działania interwencyjne**

(Wprowadzane przed lub w jak najkrótszym czasie po rozpoczęciu się uwalniania substancji promieniotwórczych do otoczenia w celu uniknięcia przy-padków poważnych, deterministycznych skutków dla zdrowia i zredukowania prawdopodobieństwa powstania przyszłych, późnych, poważnych skutków zdrowotnych takich jak nowotwory).

Działanie interwencyjne	Poziom interwencyjny (dawka do uniknięcia)	Opis
pozostanie ludności w pomieszczeniach zamkniętych	1 Rem (10 mSv) (w okresie $\leq 2$ dni)	Pozostanie ludności w pomieszczeniach zamkniętych należy rozważyć gdy w przypadku zaniechania tego działania poszczególne osoby z tego terenu mogłyby otrzymać od wszystkich dróg narażenia za wyjątkiem drogi pokarmowej dwudniową dawkę efektywną równą co najmniej 10 mSv.
Podanie ludności preparatów ze stabilnym jodem	10 Rad (100 mGy) (dawka pochłonięta przez tarczycę)	Podanie ludności preparatów ze stabilnym jodem należy rozważyć gdy w przypadku zaniechania tego działania u poszczególnych osób z tego terenu zachodzi możliwość pochłonięcia przez tarczycę dawki równej co najmniej 100 mGy.
Dokonanie czasowego przesiedlenia ludności	10 Rem (100 mSv) (w okresie $\leq 7$ days)	Dokonanie czasowego przesiedlenia ludności z zagrożonego terenu należy rozważyć, gdy w przypadku zaniechania tego działania poszczególne osoby z tego terenu mogłyby otrzymać od wszystkich dróg narażenia, z wyjątkiem drogi pokarmowej, siedmiodniową dawkę efektywną równą co najmniej 100 mSv, przy czym, spadek jej wartości poniżej 10 mSv, oznacza możliwość powrotu przesiedlonej ludności. Do momentu rozpoczęcia przesiedlenia ludność powinna pozostawać w pomieszczeniach zamkniętych (drzwi i okna pozamykane). Jeżeli przesiedlenie przeprowadzane jest podczas utrzymywania się skażeń powietrza, przesiedlani winni bezzwłocznie, po jego zakończeniu, dokonać zmiany odzieży i umyć się pod bieżącą wodą.

# ROZMIESZCZENIE CZYNNYCH ELEKTROWNI JĄDROWYCH W EUROPIE W 2000 ROKU

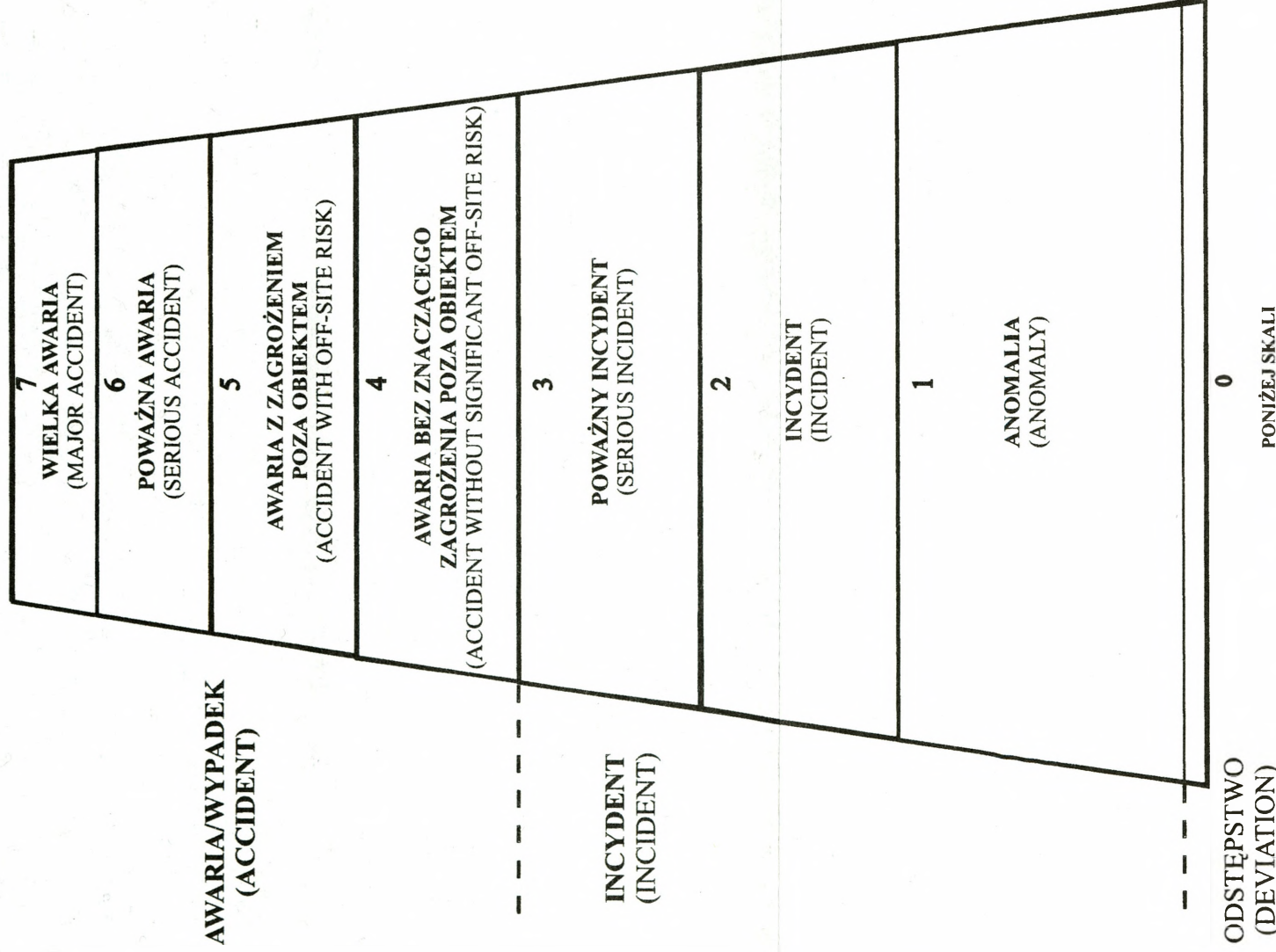
Załącznik 4



# MIĘDZYNARODOWA SKALA ZDARZEŃ JĄDROWYCH

do szybkiego powiadamiania o ich znaczeniu dla bezpieczeństwa

The International Nuclear Event Scale  
For prompt communication of safety significance



## Ogólny opis Skali INES

Międzynarodowa Skala Zdarzeń Jądrowych (ang. INES. The International Nuclear Event Scale) umożliwia szybkie i merytorycznie jednoznaczne informowanie społeczeństwa o zagrożeniach spowodowanych zdarzeniami w obiektach jądrowych. Ułatwia również ich poprawną interpretację zarówno przez specjalistów, jak też przedstawicieli mediów i społeczeństwo.

Skalę INES opracowała grupa specjalistów z różnych krajów, powołana przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (IAEA) oraz Agencję Energii Jądrowej Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (NEA OECD). W pracach nad przygotowaniem Skali uwzględniono wyniki międzynarodowych spotkań poświęconych ogólnym zasadom jej tworzenia oraz doświadczenia wielu krajów (m.in. Francji i Japonii), stosujących u siebie skale zdarzeń jądrowych oparte na podobnych zasadach.

Początkowo Skalę INES wprowadzono na próbę – w 32 krajach – jedynie do opisu zdarzeń w elektrowniach jądrowych. Rezultaty tych prób okazały się zadowalające i obecnie zaleca się jej stosowanie we wszystkich krajach, przy czym rozszerzono strukturę Skali również do opisu zdarzeń we wszystkich obiektach jądrowych (związanych z cywilnym przemysłem jądrowym) oraz podczas transportu materiałów promieniotwórczych do – i z takich obiektów.

Skala dzieli zdarzenia na siedem poziomów. Niższe poziomy Skali (1 – 3) noszą nazwę **incydentów**, a wyższe (4 – 7) – **awarii (wypadków)**. Zdarzenia, które nie mają znaczenia dla bezpieczeństwa są nazywane **odstępstwami** i zostały sklasyfikowane jako **poziom 0 – poniżej skali**. Natomiast „**poza skalę**” sklasyfikowane są zdarzenia zupełnie nie związane z bezpieczeństwem.

W tabeli obok podano najistotniejsze kryteria i zagrożenia według których zdarzenia są klasyfikowane<sup>\*</sup>.

**Druga kolumna** tabeli odnosi się do zdarzeń, którym towarzyszy uwolnienie substancji promieniotwórczych poza teren obiektu. Jedynie takie uwolnienia mogą spowodować bezpośrednie narażenie ludności na promieniowanie i ten czynnik musi być przede wszystkim brany pod uwagę. **Najniższy – 3 poziom** tej kolumny przypisano uwolnieniom, które powodują, że najwyższa dawka jaką otrzymuje osoba znajdująca się poza obiektem równa jest ok. 1/10 rocznej dawki granicznej ustalonej dla ogółu ludności. (Wielkość ta jest zwykle równa ok. 1/10 średniej dawki rocznej pochodzącej od naturalnego tła promieniowania.) **Najwyższy – 7 poziom** tej kolumny odpowiada wielkiej awarii jądrowej, powodującej poważne skutki zdrowotne i środowiskowe na znacznym obszarze.

**Trzecia kolumna** tabeli przedstawia skutki zdarzeń, odczuwane na terenie obiektu. Zdarzenia takie zajmują na Skali przedział od **poziomu 2** (skażenie i/lub napromienienie pracownika powyżej dopuszczalnego limitu) do **poziomu 5** (poważne uszkodzenie obiektu, np. stopienie rdzenia reaktora).

**Czwarta kolumna** tabeli odnosi się do zdarzeń w obiektach jądrowych lub podczas transportu materiałów promieniotwórczych, w wyniku których zostały uszkodzone elementy wielostopniowych zabezpieczeń (tzw. „obrony w głąb”<sup>\*\*</sup>). Kolumna ta obejmuje zdarzenia odpowiadające na Skali **poziomom 1 – 3**.

W tabeli umieszczonej na ostatniej stronie publikacji podano określenia (nazwy) poszczególnych poziomów, kryteria według jakich zostały ustalone oraz przykłady zdarzeń, które miały miejsce w przeszłości w różnych obiektach jądrowych.

**Zdarzenie, którego oceny można dokonać na podstawie kilku kryteriów zawsze jest klasyfikowane wg kryterium odpowiadającego największemu zagrożeniu.**

<sup>\*</sup> Wszystkie kryteria, i cechy bezpieczeństwa klasyfikowanych zdarzeń omówiono obszernie w publikacji „INES. The International Nuclear Event Scale. User's Manual”. Revised and Extended Edition, IAEA, Vienna 1992.  
<sup>\*\*</sup> Wszystkie obiekty jądrowe są zaprojektowane w taki sposób, by kolejne bariery bezpieczeństwa zapobiegały wystąpieniu awarii lub ograniczały jej skutki zarówno w obiekcie, jak i poza obiektem. Istnienie takich barier powoduje więc obniżenie prawdopodobieństwa powstania zagrożenia.  
Bariery bezpieczeństwa są jednym z elementów wielostopniowych zabezpieczeń (tzw. „obrony w głąb”).

## Stosowanie Skali

- Skalę INES stosuje się bezpośrednio po wystąpieniu zdarzenia. Niekiedy jednak ocena jego skutków wymaga więcej czasu. Wówczas należy podać ocenę wstępną, a później ją potwierdzić albo – po uzyskaniu dodatkowych informacji – zmienić klasyfikację zdarzenia.
- Każdy kraj ma własne procedury postępowania na wypadek nadzwyczajnych zagrożeń, które obejmują m.in. awarie radiologiczne w pobliżu obiektu jądrowego lub podczas transportu materiałów promieniotwórczych. Skala INES nie może być więc jednym z elementów oficjalnych planów awaryjnych.

● Skala służy do opisu zdarzeń we wszystkich obiektach jądrowych. Jedyną w niektórych tego typu obiektach jest fizyczną niemożliwością wystąpienie zdarzeń, powodujących uwolnienie do otoczenia znacznych ilości substancji promieniotwórczych. Należą do nich: reaktory badawcze, zakłady produkujące paliwo jądrowe i składowiska odpadów promieniotwórczych. Klasyfikacja zdarzeń w tych obiektach nigdy nie będzie sięgała górnych poziomów Skali.

● Wypadki przemysłowe lub inne zdarzenia nie związane bezpośrednio z technologiami jądrowymi czy radiacyjnymi, nie podlegają klasyfikacji wg Skali INES i są określane jako „poza skalę”. Na przykład, jeżeli uszkodzenie turbiny lub generatora wpływa jedynie na ich dyspozycyjność, ale nie oddziałuje na funkcjonowanie urządzeń ważnych dla bezpieczeństwa jądrowego, to zdarzenie takie powinno być zaklasyfikowane jako „poza skalę”. Podobnie, zdarzenia takie jak pożar należy traktować jako „poza skalę”, jeżeli nie powodują żadnego potencjalnego zagrożenia radiologicznego i nie naruszają barier bezpieczeństwa.

● Skala INES nie może służyć do wyboru zdarzeń umożliwiających wprowadzanie ulepszeń projektowych. Często bowiem istotne – ze względu na bezpieczeństwo eksploatacji – wnioski, wynikające ze zdarzeń o stosunkowo niewielkim znaczeniu.

● Skali nie powinno się stosować do porównywania poziomu bezpieczeństwa w różnych krajach. Każdy kraj ma własne zasady prowadzenia ludności o mało istotnych zdarzeniach. Poza tym trudno byłoby zapewnić ścisłą międzynarodową zgodność klasyfikowania zdarzeń, których ocena zawiera się między poziomami 0 i 1. Statystycznie mała i zmieniająca się z roku na rok liczba takich zdarzeń utrudnia znaczące porównania międzynarodowe.

● Kryteria bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz terminologia stosowana do ich opisanja są różne w różnych krajach, choć w ogólnych zarysach porównywalne. Skala INES została opracowana z uwzględnieniem tego faktu.

## Przykłady sklasyfikowanych zdarzeń jądrowych

● **1986 r.** – awaria elektrowni jądrowej (EJ) w Czarnobylu w ZSRR (obecnie Ukraina) spowodowała rozlecie skutki środowiskowe i zdrowotne. Z tego powodu została sklasyfikowana na **poziomie 7**.

● **1957 r.** – awaria w zakładach przerobu paliwa jądrowego w Kysztymie w ZSRR (obecnie Rosja) spowodowała uwolnienie do otoczenia znacznych ilości substancji promieniotwórczych. W celu ograniczenia poważnych skutków zdrowotnych podjęto środki zaradcze, włącznie z ewakuacją ludności. Na podstawie skutków poza obiektem zdarzenie to zostało sklasyfikowane na **poziomie 6**.

● **1957 r.** – awaria w reaktorze grafitowym chłodzonym powietrzem w Windscale (obecnie Sellafield) w Wielkiej Brytanii, spowodowała uwolnienie na zewnątrz radioaktywnych produktów rozszczepienia. Na podstawie skutków poza obiektem została sklasyfikowana na **poziomie 5**.

● **1979 r.** – awaria w elektrowni jądrowej Three Mile Island w Stanach Zjednoczonych spowodowała stopienie części rdzenia reaktora. Uwolnienie substancji promieniotwórczych poza teren obiektu było nieznaczne. Na podstawie skutków w obiekcie zdarzenie sklasyfikowano na **poziomie 5**.

● **1973 r.** – awarii w zakładach przerobu paliwa jądrowego w Windscale (obecnie Sellafield) w Wielkiej Brytanii towarzyszyło uwolnienie substancji promieniotwórczych do pomieszczeń roboczych w wyniku egzotermicznej reakcji w zbiorniku technologicznym. Na podstawie skutków w obiekcie sklasyfikowano ją na **poziomie 4**.

● **1980 r.** – awaria w elektrowni jądrowej Saint-Laurent we Francji spowodowała częściowe uszkodzenie rdzenia reaktora. Nie doszło jednak do uwolnienia substancji promieniotwórczych na zewnątrz. Na podstawie skutków w obiekcie sklasyfikowano ją na **poziomie 4**.

● **1983 r.** – awaria w zestawie krytycznym RA-2 w Buenos Aires w Argentynie polegała na gwałtownym wzroście mocy na skutek nieprzebrzegania zasad bezpieczeństwa podczas modyfikacji rdzenia. W wyniku tej awarii śmierć poniósł operator, który najprawdopodobniej znajdował się w odległości 3–4 m od reaktora. Ocena się, że wielkość dawek pochłoniętych przez ofiarę wynosiła: 21 Gy od promieniowania gamma i 22 Gy od neutronów. Na podstawie skutków w obiekcie awarii sklasyfikowano na **poziomie 4**.

● **1989 r.** – incydent w elektrowni jądrowej Vandellós w Hiszpanii nie spowodował uwolnienia substancji promieniotwórczych na zewnątrz; nie było również uszkodzenia rdzenia reaktora ani skażenia w obiekcie. Uszkodzenie systemów bezpieczeństwa w wyniku pożaru spowodowało jednak znaczne naruszenie wielostopniowych zabezpieczeń (tzw. „obrony w głąb”). Na tej podstawie zdarzenie sklasyfikowano na **poziomie 3**.

● Zdecydowana większość zgłaszanych zdarzeń dotyczy incydentów lub anomalii klasyfikowanych **poniżej poziomu 3**. Nie zamieszczono tu przykładów takich zdarzeń, ale kraje, które stosują Skalę mogą sporządzić ich listę np. korzystając z własnych doświadczeń.

PODSTAWOWA STRUKTURA SKALI

KRYTERIA I NAJISTOTNIEJSZE CECHY BEZPIECZEŃSTWA		Naruszenie wielostopniowych zabezpieczeń (tzw. „obrony w głąb”)
Poziom i nazwa	Skutki poza obiektem	Skutki w obiekcie
7 WIELKA AWARIA	Wielkie uwolnienie; rozległe skutki zdrowotne i środowiskowe	
6 POWAŻNA AWARIA	Znaczne uwolnienie; prawdopodobnie będzie konieczne pełne wprowadzenie planowanych przeciwdziałań	
5 AWARIA Z ZAGROŻENIEM POZA OBIEKTEM	Ograniczone uwolnienie; prawdopodobnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie planowanych przeciwdziałań	Poważne uszkodzenie rdzenia reaktora/barier radiologicznych
4 AWARIA BEZ ZNACZĄCEGO ZAGROŻENIA POZA OBIEKTEM	Małe uwolnienie; narażenie ludności na narażenie dawką na poziomie dopuszczalnych limitów	Znaczne uszkodzenie rdzenia reaktora/barier radiologicznych; narażenie pracownika na napromienienie dawką śmiertelną
3 POWAŻNY INCYDENT	Bardzo małe uwolnienie; narażenie ludności na napromienienie dawką rzędu ułamka dopuszczalnych limitów	Poważne skażenie/ostre skutki zdrowotne u pracownika
2 INCYDENT		Znaczne naruszenie zabezpieczeń
1 ANOMALIA		Anomalia naruszająca zatwierdzone warunki eksploatacyjne
0 ODSTĘPSTWO ZDARZENIE PONIZEJ SKALI ZDARZENIE SKALA		
	BEZ ZNACZENIA DLA BEZPIECZEŃSTWA	
	NIE ZWIĄZANE Z BEZPIECZEŃSTWEM	

MIĘDZYNARODOWA SKALA ZDARZEŃ JĄDROWYCH  
do szybkiego powiadomienia o ich znaczeniu dla bezpieczeństwa

POZIOM AWARIE/ WYPADKI 7	NAZWA WIELKA AWARIA	KRYTERIA	PRZYKŁADY
6	POWAŻNA AWARIA	- Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od tysięcy do dziesiątków tysięcy terabekereli jodu I31). Prawdopodobnie będzie konieczne pełne wprowadzenie przeciwdziałań przewidzianych w lokalnych planach postępowania awaryjnego, w celu ograniczenia poważnych skutków zdrowotnych. - Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od setek do tysięcy terabekereli jodu I31). Przypuszczalnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie przeciwdziałań przewidzianych w planach postępowania awaryjnego, w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia skutków zdrowotnych. - Poważne uszkodzenie obiektu jądrowego. Może to być: częściowe uszkodzenie rdzenia reaktora, awaria spowodowana nieprzewidywanym osiągnięciem przez reaktor stanu nadkrytycznego, poważny pożar lub eksplozja, w wyniku których nastąpi uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych wewnątrz obiektu.	Zakłady przerobu paliwa w Kyszy-Ukraine, 1986
5	AWARIA Z ZAGRO- ŻENIEM POZA OBIEKTEM	- Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od setek do tysięcy terabekereli jodu I31). Przypuszczalnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie przeciwdziałań przewidzianych w planach postępowania awaryjnego, w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia skutków zdrowotnych. - Poważne uszkodzenie obiektu jądrowego. Może to być: częściowe uszkodzenie rdzenia reaktora, awaria spowodowana nieprzewidywanym osiągnięciem przez reaktor stanu nadkrytycznego, poważny pożar lub eksplozja, w wyniku których nastąpi uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych wewnątrz obiektu.	Reaktor w Windscale Wielka Brytania, 1957 EJ Three Mile Island, USA, 1979
4	AWARIA BEZ ZNA- CZĄCEGO ZAGRO- ŻENIA POZA OBIEKTEM	- Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych, przy czym największa dawka jaką może otrzymać osoba znajdująca się poza obiektem wyniesie ok. kilku mSv*. Przy takim uwolnieniu konieczność podjęcia działań zaradczych poza obiektem jest mało prawdopodobna, z wyjątkiem ewentualnej kontroli żywności. - Znaczne uszkodzenie obiektu jądrowego. Może to być awaria, która spowoduje uszkodzenie elektrowni trudne do naprawienia (np. częściowe stopienie rdzenia reaktora) lub porównywalne zdarzenie w instalacjach niereaktorowych. - Prawdopodobieństwo napromienienia jednego lub kilku pracowników dawką śmiertelną.	Zakłady przerobu paliwa w Windscale, Wielka Brytania, 1973 EJ Saint-Laurent, Francja 1980 Zestaw krytyczny w Buenos Aires, Argentyna 1983
INCYDENTY 3	POWAŻNY INCYDENT	- Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych przekraczających ustalone limity, przy czym największa dawka jaką otrzyma osoba znajdująca się poza obiektem nie przekroczy 1 mSv. Przy takich uwolnieniach podejmowanie środków zaradczych prawdopodobnie nie będzie potrzebne. - Zdarzenie na terenie obiektu, które może spowodować ostre skutki zdrowotne u pracowników i/lub rozległe skażenie, np. uwolnienie do obudowy bezpieczeństwa substancji promieniotwórczych o aktywności kilku tysięcy terabekereli, przy czym substancje te mogą być zawrócone do odpowiednich stref przechowywania. - Zdarzenie, w wyniku którego jakakolwiek dalsza niesprawność systemów zabezpieczeń może doprowadzić do awarii lub sytuacji, w której systemy te nie byłyby w stanie zapobiec awarii, gdyby pojawiły się dodatkowe czynniki inicjujące.	EJ Vandellos, Hiszpania, 1989
2	INCYDENT	- Zdarzenie, w wyniku którego zostały znacznie naruszone niektóre bariery bezpieczeństwa, ale pozostałe elementy wielostopniowych zabezpieczeń (tzw. „obrony w głąb”) skutecznie chronią przed ewentualnymi dalszymi uszkodzeniami. - Zdarzenie, w wyniku którego pracownik otrzyma dawkę przekraczającą ustaloną roczną dawkę graniczną i/lub zdarzenie prowadzące do znacznego skażenia w miejscach, w których nie powinno się ono pojawić, a co wymaga podjęcia działań naprawczych.	
1	ANOMALIA	- Zdarzenie naruszające zatwierdzony reżim eksploatacyjny. Może to być spowodowane niesprawnością urządzenia, błędem ludzkim lub niedoskonalościami procedury. (Taki anomalie należy odróżnić od sytuacji, w których warunki eksploatacyjne nie zostały naruszone a postępowanie było zgodne z odpowiednimi procedurami. Klasyfikuje się je zazwyczaj jako zdarzenia „poniżej skali”)	
0 PONIŻEJ SKALI	ODSTĘP- STWO	Bez znaczenia dla bezpieczeństwa	

\*) Dawki są wyrażone jako efektywne równoważniki dawki (dawka na całe ciało). Kryteria te mogą być również wyrażone odpowiadającymi im rocznymi limitami uwolnień.

Polska wersja „Międzynarodowej Skali Zdarzeń Jądrowych” została opracowana na podstawie publikacji „The International Nuclear Event Scale. For prompt communication of safety significance”, wydanej w 1992 r. przez MAEA i Agencję Energii Jądrowej OECD.

