
W 20-TĄ ROCZNICĘ AWARII CZARNOBYLSKIEJ ELEKTROWNI JĄDROWEJ

OPRACOWANIE DZIAŁU SZKOLENIA I DORADZTWA INSTYTUTU PROBLEMÓW JĄDROWYCH
(W. TROJANOWSKI, L. DOBRZYŃSKI, E.DROSTE)
ORAZ
A.STRUPCZEWSKIEGO Z INSTYTUTU ENERGII ATOMOWEJ

MARZEC 2006; OSTATNIE ZMIANY 4 MAJA 2006

SPIS TREŚCI

1. Zamiast wstępu	2
2. Energetyka jądrowa	3
3. Reaktory typu RBMK	6
4. Przebieg wydarzeń w EJ Czarnobyl	8
Przygotowania do nieudanego eksperymentu	8
Chronologia zdarzeń	9
Emisja radionuklidów do atmosfery w wyniku awarii reaktora w Czarnobylu	12
5. Przesiedlenia	13
6. Sytuacja zdrowotna na Ukrainie i Białorusi	14
7. Działania podjęte w Polsce	17
8. Skutki zdrowotne w Polsce	19
9. Rozpowszechnianie informacji w Polsce	21
10. Koszty sprzątania	21
11. Porównanie skutków awarii czarnobylskiej ze skutkami innych awarii i katastrof	22
12. Odróbnym wreszcie tę lekcję!	25
13. System reagowania Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej na kryzys	28
14. Międzynarodowa skala zdarzeń jądrowych INES	29
Poziomy w skali INES:	29
Podziękowania	32
Bibliografia	32

1.ZAMIAST WSTĘPU

28 kwietnia 1986 r. detektory w Ośrodku Atomistyki w Świerku pod Warszawą zarejestrowały podwyższoną radioaktywność, uruchomiły się systemy alarmowe, a na ekranach spektrometrów, służących do identyfikacji radioizotopów, pojawiły się intensywne linie promieniotwórczych izotopów jodu i cezu, co jednoznacznie świadczyło o zaistnieniu dużej awarii reaktorowej. Natychmiast sprawdzono urządzenia w Świerku i okazało się, że skażenie pochodzi z zewnątrz. Telefony były odcięte. Podobno na polecenie sekretarza POP PZPR.

W tym czasie Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie, opierając się na wskazaniach stacji monitoringu rozrzuconych po kraju, zawiadomiło władze PRL i rozpoczęło przygotowania do wdrożenia procedur przewidzianych na taką okoliczność, w tym akcji podawania ludności płynu Lugola, blokującego swym niepromieniotwórczym jodem tarczycę. Akcja była przeprowadzona wyjątkowo sprawnie, czym polskie służby zyskały międzynarodowe uznanie. W kraju słyszało się głosy, że tu i ówdzie płynu Lugola nie podano przed wystąpieniem opadu promieniotwórczego. Należy jednak pamiętać, że narażenie na jod-131 trwało wiele dni, głównie wskutek skażenia żywności, a blokowanie tarczycy zaczęto już 29 kwietnia i w ciągu pierwszej doby akcji objęto nią 75% ludności skażonych wówczas rejonów północno-wschodniej Polski. Nigdzie na świecie nie ochroniono tak szybko tak dużej części narażonej ludności.

W prasie i telewizji zaroilo się od wywiadów z prawdziwymi i domniemanymi specjalistami od postępowania w przypadku skażeń promieniotwórczych (przy czym, jak to zwykle bywa, najczęściej do powiedzenia miały osoby nie mające o sprawie pojęcia). Grozą powiało po Polsce i świecie. Ekowojownicy zatarli radośnie (oficjalnie – z troską) ręce i gromko zaprotestowali przeciwko wszystkiemu, co ma przymiotnik „jądrowy” w nazwie. Niemiecki „Ośrodek Badań Jądrowych” w Karlsruhe z obawy przed cofnięciem finansowania przez rząd (notabene „zielonych”) zmienił swoją nazwę na „Ośrodek Badawczy”, a ceniona metoda obrazowania ludzkiego ciała, bazująca na „magnetycznym rezonansie jądrowym” przyjęła nazwę „obrazowania magnetycznym rezonansem”, czyli MRI. Niestety bardzo wiele przerażonych kobiet w Europie i ZSRR poddało się aborcji dla uniknięcia urodzenia popromiennego mutantu. Dziennikarze zaś nabrali wiatru żagle i zaczęli dostrzegać w okolicach Czarnobyla potworne kurczaki-mutanty wielkości strusia, a nawet sugerowano możliwość powrotu na Ziemię dinozaurów. Nakręcono też kilka filmów, m. in. „Czarnobyl, autopsja chmury” oraz nieco później „Igor – dziecko Czarnobyla”, które przedstawiały wierutne bzdury na temat skutków awarii (co wytknęły autorom środowiska naukowe). Bzdury te, niestety, trafiały na podatny grunt społeczny. Świat żył wówczas w strachu przed wojną jądrową, a obie strony potencjalnego konfliktu pilnie dbały o to, by przeciwnik bał się ich broni.

Należy przypomnieć, że to co określano „wybuchem reaktora jądrowego” nie miało nic wspólnego z wybuchem jądrowym, mieliśmy bowiem do czynienia z dwoma wybuchami: wpierw pary, a następnie wodoru. Stało się to na skutek wydzielania dużej ilości ciepła z paliwa jądrowego i zapalenia się grafitowego moderatora w reaktorze, czemu towarzyszyło intensywne wydzielanie się wodoru, który w zetknięciu z tlenem spowodował wybuch. W jego wyniku do atmosfery wydzielila się ogromna ilość materiału promieniotwórczego (8×10^{18} Bq, czyli zaledwie 200 razy mniej niż ze wszystkich wybuchów jądrowych). Pomimo ewidentnych różnic, w powszechnej świadomości wybuch reaktora i wybuch bomby atomowej niczym się nie różnią, a konsekwencjami obu „muszą być” mutacje u potomstwa osób napromieniowanych, nie mówiąc o rozwinieciu się chorób nowotworowych u tych osób. W wyniku strachu przed potencjalnymi mutacjami potomstwa, gwałtownie wzrosła liczba aborcji – na Białorusi i Ukrainie w latach 1986-1987 liczba aborcji sięgnęła ok.1/3 wszystkich urodzeń w Europie Wschodniej!. Ten strach nie był wynikiem niewiedzy – był wynikiem wiedzy, tyle że nabytej z zupełnie nieodpowiedzialnych w tym względzie mediów, które wbrew oczywistym faktom, jednoznacznie

wskazującym, że wśród potomstwa ofiar bombardowań Hiroszimy i Nagasaki, które otrzymały dziesiątki i setki razy wyższe dawki w ok. 10^{15} razy (!) krótszym czasie, nie stwierdzono zmian genetycznych. Również rzetelna wiedza na temat rozwoju nowotworów w wyniku napromienienia bardzo różni się z powszechną opinią, u której podłoża leży radiofobia czyli strach przed jakąkolwiek dawką promieniowania.

W roku 1986, poza nielicznymi wyjątkami, niemal wszyscy wierzyli, że nawet najmniejsza dawka promieniowania, bliska zerowej, powoduje powstawanie nowotworów. Paradygmat ten był administracyjnym założeniem, przyjętym w roku 1959 dla ochrony radiologicznej stosunkowo małej grupy ludzi zawodowo narażonych na promieniowanie jonizujące. Założenie to, nie udowodnione naukowo, wg określenia jednego ze specjalistów od ochrony radiologicznej upraszczające „buchalterię” ochrony radiologicznej, uzyskało rangę dogmatu i stało się najważniejszym źródłem czarnobylskich obaw. Obecnie jest ono poddawane krytyce, nagromadzono bowiem wiele danych epidemiologicznych i eksperymentalnych wskazujących na jego fałszywość. Oparte na nim procedury ochrony radiologicznej prowadzą do niebotycznie wysokich wydatków stojących w rażącej dysproporcji do kosztów ochrony przed innymi, znacznie ważniejszymi zagrożeniami. Hipotetyczne uratowanie jednego życia ludzkiego przez wprowadzenie do amerykańskiej energetyki jądrowej przepisów opartych na tym paradygmacie kosztuje, jak oceniono, 2,5 mld USD. Natomiast koszt szczepień ochronnych przeciw dyfterytowi, krztuścowi i odrze naprawdę ratujących życie, wynosi w Trzecim Świecie 50-100 USD na osobę. Na takie szczepienia jednak chronicznie brakuje pieniędzy. Również koszty wspomnianego paradygmatu, leżącego u podstaw decyzji działań podjętych w wyniku awarii w Czarnobylu, to miliardy niepotrzebnie traconych dolarów.

Przejdźmy wreszcie do opisu elektrowni w Czarnobylu, przebiegu awarii oraz pierwszych dni po katastrofie. Zastanówmy się, czego nas nauczyła ta awaria i jakich jej konsekwencji możemy się spodziewać w przyszłości. Tę „lekcję Czarnobyla” powinniśmy wszyscy odrobić, choćby po to aby zracjonalizować nasz strach przed promieniowaniem i energetyką jądrową.

2. ENERGETYKA JĄDROWA

Elektrownia to zakład przemysłowy przetwarzający na energię elektryczną inne rodzaje energii. Elektrownie klasyfikuje się wg rodzaju przetwarzanej energii bądź rodzaju jej nośnika. Najczęściej są to elektrownie ciepłone w tym elektrownie paliwowe (energia chemiczna spalanej paliwa), elektrownie geotermalne (energia cieplna wnętrza Ziemi), elektrownie maretermiczne (energia cieplna wód morskich), elektrownie jądrowe (energia wiązań jąder atomów) oraz elektrownie słoneczne czyli helioelektrownie (energia promieni słonecznych).

Podstawowym urządzeniem elektrowni jest generator prądu napędzany turbiną parową, tłokowym silnikiem spalinowym, lub turbiną gazową. W elektrowniach jądrowych (EJ) generator prądu jest napędzany turbiną parową (turbogenerator). Ciepło pary wodnej po przejściu przez turbinę jest jeszcze stosunkowo duże, stąd często wykorzystuje się je do celów grzewczych (elektrociepłownie).

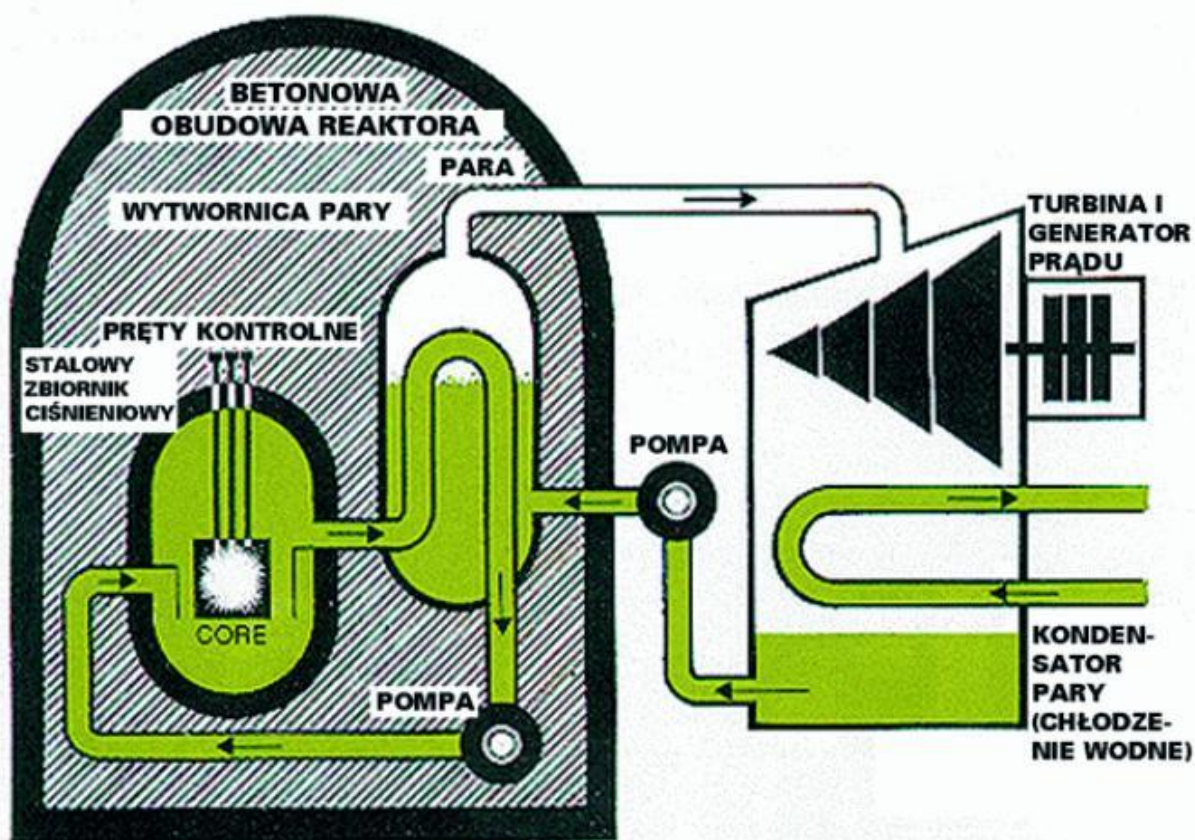
„Sercem” każdej EJ jest reaktor, w którym ciepło uzyskuje się z kontrolowanej reakcji łańcuchowej rozszczepienia jąder atomów paliwa (np. uranu-235) przy udziale wodnego, grafitowego lub berylowego moderatora spowalniającego powstałe neutrony, dzięki czemu zwiększa się prawdopodobieństwo zainicjowania przez nie kolejnej reakcji rozszczepienia. Przebieg reakcji reguluje się przez wsuwanie lub wyciąganie z rdzenia (zawierającego paliwo jądrowe) tzw. prętów sterujących wykonanych z materiałów pochłaniających neutrony (izotopy boru lub kadmu). Przez rdzeń przepływa chłodziwo, które chłodząc rdzeń samo silnie nagrzewa się. Woda jest bardzo dobrym chłodziwem z uwagi na jej duże ciepło właściwe, ale musi być utrzymana pod dużym ciśnieniem dla uniknięcia

wrzenia w temperaturze rzędu kilkuset stopni Celsjusza. Ciepło pobrane w reaktorze zostaje oddane w wymienniku ciepła wodzie obiegu wtórnego lub wodzie w wytwornicy pary, która zasilą turbogenerator. Temperatura tej pary i jej ciśnienie muszą być odpowiednio wysokie, aby zapewnić wysoką sprawność turbiny. Po przejściu przez turbinę para jest chłodzona i skroplona wraca do wytwornicy pary.

Pierwszą większą elektrownię zbudował w 1882 T.A. Edison w Nowym Jorku. Wytwarzała ona prąd stały zasilający 1284 żarówki. W 1891 w Laufen (Niemcy) M. Doliwo-Dobrowolski zbudował pierwszą elektrownię wodną z trójfazową prądnicą prądu zmiennego. Pierwszą EJ wybudowali Rosjanie 1954 w [Obnińsku](#) (90 km od Moskwy).

Najszerzej rozpowszechnionym typem reaktora energetycznego jest wodny reaktor ciśnieniowy (PWR). Jego schemat pokazano na rys.1. Dla lepszego poznania reakcji rozszczepienia i zasady działania reaktora PWR namawiamy Czytelnika do odwiedzenia przyjaznej czytelnikowi dydaktycznej strony internetowej <http://www.ipj.gov.pl/pl/szkolenia/nupex/>. Polecamy też strony w języku angielskim <http://science.howstuffworks.com/nuclear-power.htm> i www.world-nuclear.org.

Wliczając koszt unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych powstałych podczas pracy EJ koszt 1 kWh energii elektrycznej wytwarzanej w takich elektrowniach jest porównywalny z kosztem energii uzyskanej w hydroelektrowniach i znacznie mniejszy niż koszt energii uzyskanej w konwencjonalnych elektrowniach ciepłych. Zasoby kopalne, na których opiera się dzisiejsza energetyka konwencjonalna szybko się wyczerpują. Jak się ocenia, opłacalne do wydobycia zapasy ropy naftowej starczą na około 30 lat, gazu na 60 lat, węgla na ok. 200 lat. Przy obecnej technologii uranowych reaktorów energetycznych zapas paliwa starczyłby także na niezbyt długi okres ok. 50 lat, jednak przy rozwoju reaktorów powielających – już na 3000 lat, a reaktorów powielających opartych na torze – aż na 6300 lat. Hipotetyczne wykorzystanie wszystkich zasobów uranu i toru w skorupie ziemskiej pozwoliłoby zapewnić bezpieczeństwo energetyczne przez ponad 200 miliardów lat, podczas gdy przewidywany czas życia naszej planety wynosi ok. 5 miliardów lat. Tak się dzieje się dzięki nadzwyczaj wysokoenergetycznej reakcji rozszczepienia jąder niektórych izotopów, na której bazują reaktory jądrowe. Z 1kg obecnie najczęściej używanego paliwa jądrowego (^{235}U), można uzyskać tyle energii elektrycznej, co z 3000 ton węgla lub 1600 ton benzyny. Jednocześnie zagrożenia środowiska naturalnego i życia ludzi w przypadku EJ są mniejsze niż w przypadku elektrowni zasilanych węglem. Wynika to z bardzo rozbudowanych systemów zabezpieczeń współczesnych EJ, porównywalnych do zabezpieczeń stosowanych w przemyśle kosmicznym. Jeśli w końcu XXI wieku nastąpiłby rozwój energetyki opartej na syntezie jądrowej, a nie na reakcji rozszczepienia jąder, to biorąc pod uwagę zasoby deuteru w oceanach i litu w skorupie ziemskiej, obecnie rozwijana technologia pozwoliłaby zaspokoić potrzeby energetyczne ludzkości przez ok. 60 mln lat.



Rys. 1 Schemat konstrukcji reaktora wodnego wysokociśnieniowego (PWR)

Obecnie trwają usilne poszukiwania tzw. energii alternatywnych, co jest podyktowane chęcią zapewnienia ludzkości większych zasobów energetycznych bez narażania ich na ewentualne skutki promieniowania jonizującego. Choć skutki awarii w Czarnobylu jednoznacznie wskazują, że to narażenie jest bezzasadnie wyolbrzymione (będziemy na ten temat mówili w dalszych częściach niniejszego opracowania), jest rzeczą potrzebną poszukiwanie wszelkich skutecznych i ekonomicznie opłacalnych źródeł energii. Warto jednak uświadomić sobie, że przy obecnych możliwościach technologicznych, zaspokojenie potrzeb energetycznych Europy Zachodniej przy wykorzystaniu jedynie tzw. odnawialnych źródeł energii wymagałoby:

Źródło energii	Wymagałoby
Słońce	Paneli fotowoltaicznych o łącznej powierzchni 260 000 km ²
Wiatr	7 milionów wiatraków o wysokości 100 m; ustawiając je co 200 m trzeba by poświęcić teren o powierzchni 280 000 km ²
Biogaz	15,6 miliardów świń lub 200 miliardów kurcząt
Tioalkohol	2 000 000 km ² ziemniaków lub 7 000 000 km ² pszenicy
Biomasa	7 800 000 km ² lasów

Jeśli spojrzeć na energetykę jądrową jedynie przez pryzmat zagrożeń, to należy zwrócić uwagę, że każdy przemysł powoduje pewną liczbę ofiar śmiertelnych. W wypadku elektrowni chyba najlepszym wskaźnikiem jest liczba zgonów na 1 gigawato-rok (tj. milion kilowatogodzin) wyprodukowanej energii elektrycznej. Wskaźnik ten, według danych z okresu 1969 – 2000 zebranych przez szwajcarski Instytut Paula Scherrera, dla całego świata (w nawiasie wskaźnik dla UE-15) kształtuje się następująco:

Typ elektrownia	Liczba zgonów na 1 GWh(e)- rok
Wodna	0,56 (0,003)
Ciepłna opalana gazem ziemnym	0,09 (0,08)
Ciepłna opalana ropą naftową	0,44 (0,13)
Ciepłna opalana węglem	0,69 (0,16)
Jądrowa z reaktorami typu RBMK (jak w Czarnobylu)	0,16 (nie dotyczy)
Jądrowa z dowolnym innym typem reaktorów	0,00 (0,00)

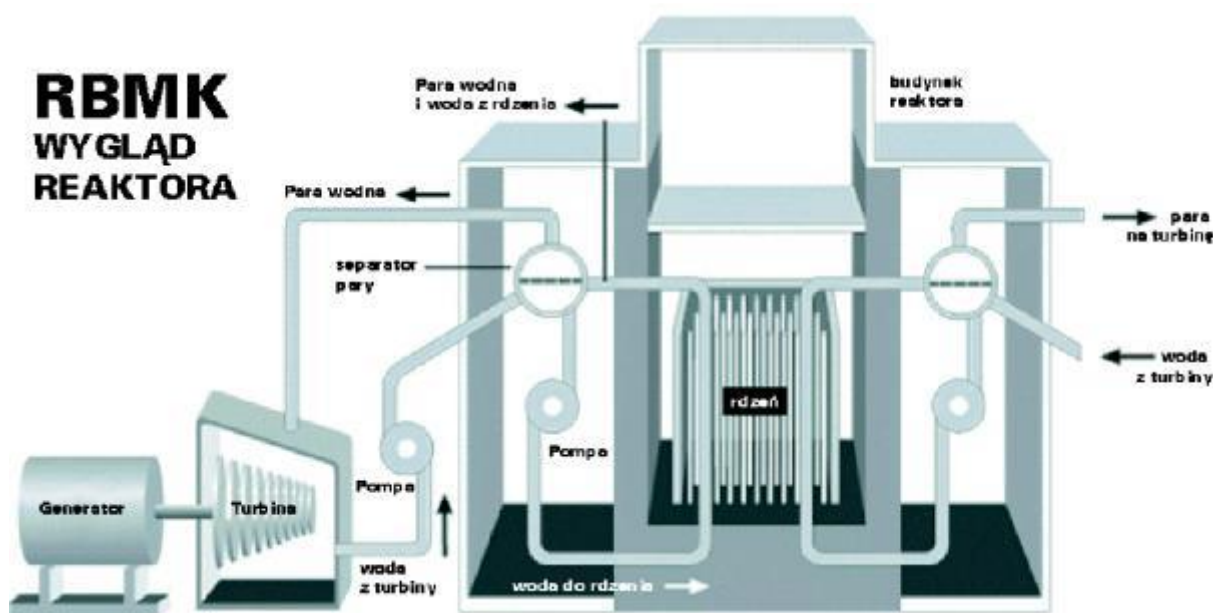
Dane te należy bardzo uważnie wziąć pod uwagę, jeśli się chce włączyć do dyskusji na temat opłacalności i ryzyka związanego z utratą zdrowia w wypadku korzystania z różnych rodzajów energetyki.

3. REAKTORY TYPU RBMK

Aby lepiej zrozumieć, co było przyczyną katastrofy w Czarnobylu trzeba omówić konstrukcję pracującego tam reaktora typu RBMK. To skrót od Kanałowy Reaktor Dużej Mocy (Реактор Большой Мощности Канальный). W Związku Radzieckim wybudowano 17 reaktorów opartych na tej konstrukcji, 4 z nich pracowały w Czarnobylu, miejscu największej awarii w historii energetyki jądrowej. Czternaście reaktorów tego typu działa do dziś: 11 w Rosji, 2 na Ukrainie i 1 na Litwie. Reaktory tego typu budowano wyłącznie na terenie byłego ZSRR. Od czasu uruchomienia pierwszych reaktorów dokonano w nich wiele ulepszeń zwiększających bezpieczeństwo działania i kolejne generacje różnią się istotnie od swoich poprzedników.

Konstrukcja RBMK wywodzi się od uranowo-grafitowych reaktorów przeznaczonych do produkcji plutonu na potrzeby wojskowe, które uruchamiano w ZSRR poczynając od 1948 roku. Pierwszy reaktor energetyczny o mocy 5 MWe uruchomiono w Obnińsku w 1954 r. Najnowsze konstrukcje (Ignalina na Litwie) osiągają moc 1300 MWe.

Główną cechą reaktorów typu RBMK jest modułowość. Rdzeń reaktora nie jest zamknięty we wspólnym dla wszystkich jednostek paliwowych zbiorniku wysokociśnieniowym, lecz składa się z dostawionych do siebie bloków grafitowych z kanałami, do których wprowadza się pręty paliwowe i do których doprowadzona jest woda zamieniająca się tam w parę. Każdy z tych kanałów ma swoje własne mechanizmy sterujące, podlegające oczywiście mechanizmom regulującym pracę reaktora jako całości. Takie rozwiązanie ułatwia wymianę prętów paliwowych i umożliwia wprowadzanie do kanałów prętów sterujących.



Rys. 2 Schemat reaktorów typu RBMK

Cechą odróżniającą reaktory energetyczne RBMK od innych konstrukcji stosowanych w świecie jest brak wytrzymałej zewnętrznej osłony zwanej obudową bezpieczeństwa, zabezpieczającej przed uwolnieniem skażeń w przypadku awarii. Przykładem odpowiedzialnego rozwiązania sprawy obudowy były zabezpieczenia, które skutecznie chroniły środowisko w czasie awarii w Three Miles Island w USA w 1979 roku. Jakkolwiek energia wyzwolona w czarnobylskim wybuchu (termicznym, nie jądrowym!) była zapewne większa niż przyjmowana w obliczeniach wytrzymałości obudowy bezpieczeństwa, to istnienie osłony najprawdopodobniej zapobiegłoby uwolnieniu takiej ilości materiału promieniotwórczego, jak miało to miejsce w Czarnobylu.

Najważniejszą jednak cechą reaktorów typu RBMK jest to, że woda służy w nich wyłącznie jako chłodziwo, a do spowalniania neutronów wystarcza grafit. W reaktorach PWR, w których rdzeń zanurzony jest w wysokociśnieniowym zbiorniku z wodą częściowe odparowanie wody powoduje niedostateczne spowalnianie neutronów i moc reaktora PWR samoczynnie maleje. Natomiast reaktor RBMK w przypadku utraty wody chłodzącej zaczyna pracować niestabilnie i zwiększa swoją moc, ponieważ mniej jest wtedy wody pochłaniającej pewną część neutronów podtrzymujących reakcję rozszczepienia, a spowolnienie neutronów i tak zachodzi skutecznie na graficie. W języku techniki nazywa się to zjawisko dodatnim współczynnikiem reaktywności. Znając cechy swojego reaktora konstruktorzy wprowadzili w nim odpowiednie zabezpieczenia, które jednak w dniu awarii w Czarnobylu zostały przez załogę świadomie wyłączone. Ponadto, jak okazało się po fakcie, układ awaryjnego wyłączania reaktora był wadliwie skonstruowany i w pierwszym momencie powodował przejściowy wzrost mocy. Grafit obudowujący kanały po nagraniu odkształcił się uniemożliwiając jakiegokolwiek manipulację, a wreszcie w kontakcie z powietrzem zapalił się. Dopiero najnowsze reaktory typu RBMK (np. Kursk 5) zaopatrzone w bezpieczne rozwiązania zapewniające ujemny współczynnik reaktywności.

Można zapytać czemu reaktor RBMK pracujący w Czarnobylu był w ogóle dopuszczony do pracy. Otóż oprócz wad (m.in. dodatni współczynnik reaktywności) miał on także zalety. Jedne i drugie zestawiono w poniższej tabeli.

Zestawienie cech reaktorów RBMK starszego typu

zalety	wady
• możliwość rozbudowy reaktora przez zestawianie typowych modułów • łatwość przeładunku paliwa w czasie normalnej pracy reaktora • elastyczność eksploatacji umożliwiające pracę reaktora w różnych warunkach	• dodatni współczynnik reaktywności przeważający przy małych mocach reaktora i powodujący skoki mocy • brak obudowy bezpieczeństwa • groźba zapalenia gorącego grafitu (ok. 750°C) w obecności tlenu z powietrza • niebezpieczeństwo kontaktu rozgrzanego grafitu z wodą w wypadku rozszczelnienia któregoś z kanałów paliwowych • mała prędkość działania i wadliwy projekt systemu awaryjnego wyłączania reaktora • skomplikowana obsługa i sterowanie

Całkowicie inaczej wygląda sprawa w lekkowodnych reaktorach typu PWR. Tu ubytek wody będącej jednocześnie chłodziwem i moderatorem zmniejsza efektywność reakcji rozszczepienia i tym samym zmniejsza moc reaktora, co zabezpiecza przed najcięższą awarią. Taki reaktor (cały rdzeń zamknięty w zbiorniku) można też wyłączyć awaryjnie zalewając rdzeń wodą z domieszką boru pochłaniającego neutrony.

Zainteresowanym problematyką bezpieczeństwa EJ polecamy prezentację na stronie <http://www.ptbr.org.pl/Bezpieczenstwo%20elektrowni.pdf>

4. PRZEBIEG WYDARZEŃ W EJ CZARNOBYL

PRZYGOTOWANIA DO NIEUDANEGO EKSPERYMENTU

Na 6 lat przed opisywaną awarią także w Kurskiej EJ doszło do niebezpiecznej sytuacji – wyłączono zewnętrzne zasilanie pomp i układów sterujących reaktorem. Ta nienormalna dla reaktora sytuacja daje się opanować ponieważ pręty regulacyjne można opuścić do rdzenia także przy odłączonych silnikach. Jednak do osiągnięcia pełnej mocy generatorów awaryjnego zasilania pomp potrzeba około 1 minuty i taki czas wystarcza do przegrzania prętów paliwowych. Postawiono więc tak zmodyfikować konstrukcję turbogeneratorów aby podczas ich bezwładnościowego biegu (po nagłym zaniku zasilania) generowały niezbędną ilość energii do czasu osiągnięcia pełnej mocy przez generatory awaryjne.

Okazją do wykonania modernizacji i testów zmodernizowanych turbogeneratorów było wyłączenie w kwietniu 1986 r. reaktora Czarnobylskiej EJ w celu remontu czwartego bloku elektrowni. Stworzono program doświadczenia, który jednak nie został właściwie przygotowany. Wymagania bezpieczeństwa zostały potraktowane czysto formalnie. Nie przewidziano żadnych specjalnych środków zabezpieczających, a nawet przewidziano odstępstwa od obowiązujących normalnych zasad bezpieczeństwa po uzyskaniu zgody kierownika zmiany elektrowni. Eksperyment zakładał między innymi wyłączenie awaryjnego systemu chłodzenia reaktora, wobec czego reaktor przez ponad 4 godziny miał pracować ze znacznie obniżonym poziomem bezpieczeństwa.

CHRONOLOGIA ZDARZEŃ

(dane m.in. z Mould R.F.: *Chernobyl Record. The Definitive History of the Chernobyl Catastrophe*, IOP Publishing 2000)

25 kwietnia 1986

01:00 – przystąpiono do obniżania mocy reaktora; operacja taka jest długotrwała ze względu na wydzielanie się promieniotwórczego ksenonu Xe-135 o okresie połowicznego zaniku około 10 h, który silnie wychwytuje neutrony ("zatrzuwa reaktor") co może doprowadzić do niekontrolowanego wygaśnięcia reakcji, zatrzymania Xe-135 w elementach paliwowych i spowodowania trudności z późniejszym ponownym uruchomieniem reaktora

03:47 – moc reaktora została obniżona do 1600 MW (połowa wartości znamionowej)

13:05 – zredukowano moc do poziomu wyznaczonego przez przeznaczoną na potrzeby własne reaktora

14:00 – wszystko było gotowe do rozpoczęcia doświadczenia: wyłączono system awaryjnego chłodzenia reaktora. Na żądanie dyspozytora Kijowskiego Okręgu Energetycznego (KOE) wstrzymano jednak wyłączenie reaktora do 23.00. Przez ten czas reaktor pracował przy 50% mocy znamionowej z wyłączonym systemem awaryjnego chłodzenia.

23:00 – dyspozytor z KOE zezwolił na odłączenie bloku od sieci; rozpoczęto obniżanie mocy reaktora do 700 MW, przy której miało być przeprowadzone doświadczenie.

24:00 – podjęła pracę kolejna zmiana - nie przygotowana do przeprowadzenia opóźnionego eksperymentu.

26 kwietnia 1986

00:28 – Moc reaktora osiągnęła 500 MW(t). W celu uzyskania lepszych warunków sterowania przełączono automatyczny system sterowania ze strefowego (dotyczącego poszczególnych części reaktora) na ogólny. Procedura taka jest dopuszczalna przy pracy reaktora z małą mocą. Wskutek trudności ze sterowaniem oraz niestabilnej pracy reaktora przy niskich mocach, moc cieplna reaktora spadła do 30 MW, gdyż nastąpiło prawie zupełne "zatrucie" ksenonem (jednym z produktów rozszczepienia). Na tym etapie należało przerwać doświadczenie, jednak postanowiono je kontynuować, aby nie dopuścić do jeszcze większego opóźnienia w realizacji eksperymentu. Dla zwiększenia mocy reaktora usunięto pręty regulacyjne, pozostawiając ich o wiele mniej od dopuszczalnego minimum (18 zamiast 30).

01:00 – Udało się w ten sposób zwiększyć moc do 200 MW, ustabilizować reaktor i usprawnić chłodzenie. Dodatkowe obciążenie i wzrost natężenia przepływu wody chłodzącej mogły jednak doprowadzić do uszkodzenia systemu chłodzenia, a zmniejszenie temperatury wody mogło doprowadzić do zmniejszenia produkcji i ciśnienia pary w separatorach, czego wynikiem mogło być automatyczne wyłączenie reaktora. Aby temu zapobiec personel zablokował systemy zabezpieczające. Wszystkie te okoliczności spowodowały drastyczny spadek reaktywności reaktora, co zanotowano o godzinie 1.22. Mimo to reaktora natychmiast nie wyłączono i postanowiono kontynuować doświadczenie.

01:23 – Zamknięto zawory turbin – **TEST SIĘ ROZPOCZĄŁ**. Moc reaktora zaczęła rosnąć w sposób niekontrolowany. Próbowano opuścić wszystkie pręty regulacyjne i bezpieczeństwa, te jednak (uniesione ze względu na niski wcześniej poziom reaktywności) znajdowały się górnych położeniach i zakleszczyły się na pewnej wysokości nie osiągając położenia dolnych. Wskutek braku zasilania pomp (wyłączenie obu turbozespołów) nastąpił gwałtowny spadek cyrkulacji wody w kanałach chłodzenia, wzrost wytwarzania pary i doszło do **tw. kryzysu wrzenia**^{a)}. Wskutek gwałtownego wzrostu mocy reaktora (do 530 MW w ciągu 3 s, a krótko później moc około 100-krotnie przekroczyła wartość projektowaną) oraz braku chłodzenia przy wyłączonych systemach awaryjnych nastąpiło przegrzanie paliwa, rozerwanie otaczających je koszulek cyrkonowych oraz wyciek stopionego paliwa. Gwałtowne odparowanie wody i wzrost ciśnienia spowodowały zablokowanie zaworów zwrotnych za pompami cyrkulacyjnymi. Wzrost ciśnienia w kanałach technologicznych oraz wysoka

temperatura spowodowały rozerwanie kanałów ciśnieniowych. Woda zaczęła wlewać się do rdzenia i bloków grafitowych wchodząc w reakcję egzotermiczną z cyrkonem. Wystąpiły także inne reakcje egzotermiczne.

01:24 – Nastąpiły dwa wybuchy: eksplozja pary wodnej oraz uwolnionego wodoru. W bardzo wysokich ciśnieniach i temperaturach woda rozkłada się na wodór i tlenek wodoru, tworząc w kontakcie z powietrzem silnie wybuchową mieszaninę. Nastąpiło zniszczenie reaktora i części konstrukcji budynku. W wyniku eksplozji przesunięta została 2000-tonowa płyta pokrywająca reaktor, który został częściowo odsłonięty i powietrze zyskało dostęp do miejsca pożaru. Powietrze reagowało z grafitowymi blokami moderatora tworząc tlenek węgla będący palnym gazem. Na zewnątrz zostały wyrzucone fragmenty grafitowego rdzenia oraz stopionego paliwa reaktorowego, które wywołały ok. 30 ognisk pożaru. Do atmosfery dostały się duże ilości radioizotopów. Około 8 z 140 ton paliwa zawierającego pluton i inne wysoce promieniotwórcze produkty rozszczepienia wydostały się z reaktora razem z resztkami moderatora i zostały rozproszone w okolicy. Pary cezu i jodu przedostały się do atmosfery podczas wybuchu i późniejszego pożaru. Obudowy bezpieczeństwa, która mogłaby zatrzymać te uwolnienia, nie było.

05:00 – opanowano pożar, który zagrażał pozostałym blokom elektrowni. Paliły się jedynie resztki reaktora wewnątrz zgliszcz budynku.

Kolejnym zadaniem było ograniczenie emisji substancji promieniotwórczych do atmosfery. W pierwszej fazie zrealizowano to poprzez "bombardowanie" reaktora piaskiem z mieszaniną baru, dolomitu i ołowiu. Do 30 kwietnia zrzucono ponad 1000 ton materiałów. Później jednak zaprzestano tej operacji ze względu na ograniczenie wymiany powietrza i wzrost temperatury pozostałości rdzenia i paliwa, co w połączeniu z wodą zalewającą reaktor mogło spowodować kolejne eksplozje. Aby uniknąć tego niebezpieczeństwa przeprowadzono trudną operację odpompowania wody z kanałów reaktora oraz zbiornika pod nim (rozgrzane pręty paliwowe mogły przetopić betonową podstawę reaktora i opaść do zbiornika rozbryzgowego). Powstała konieczność ochłodzenia reaktora. Zrealizowano pomysł wtłoczenia do zniszczonej hali azotu, co miało stłumić pożar i reakcję łańcuchową. Do tego celu ściągnięto azot nawet z odległych zakładów przemysłowych. Niestety operacja nie przyniosła spodziewanych rezultatów.

6 maja 1986

Emisja radioizotopów samoczynnie gwałtownie spadła i sytuacja została opanowana.

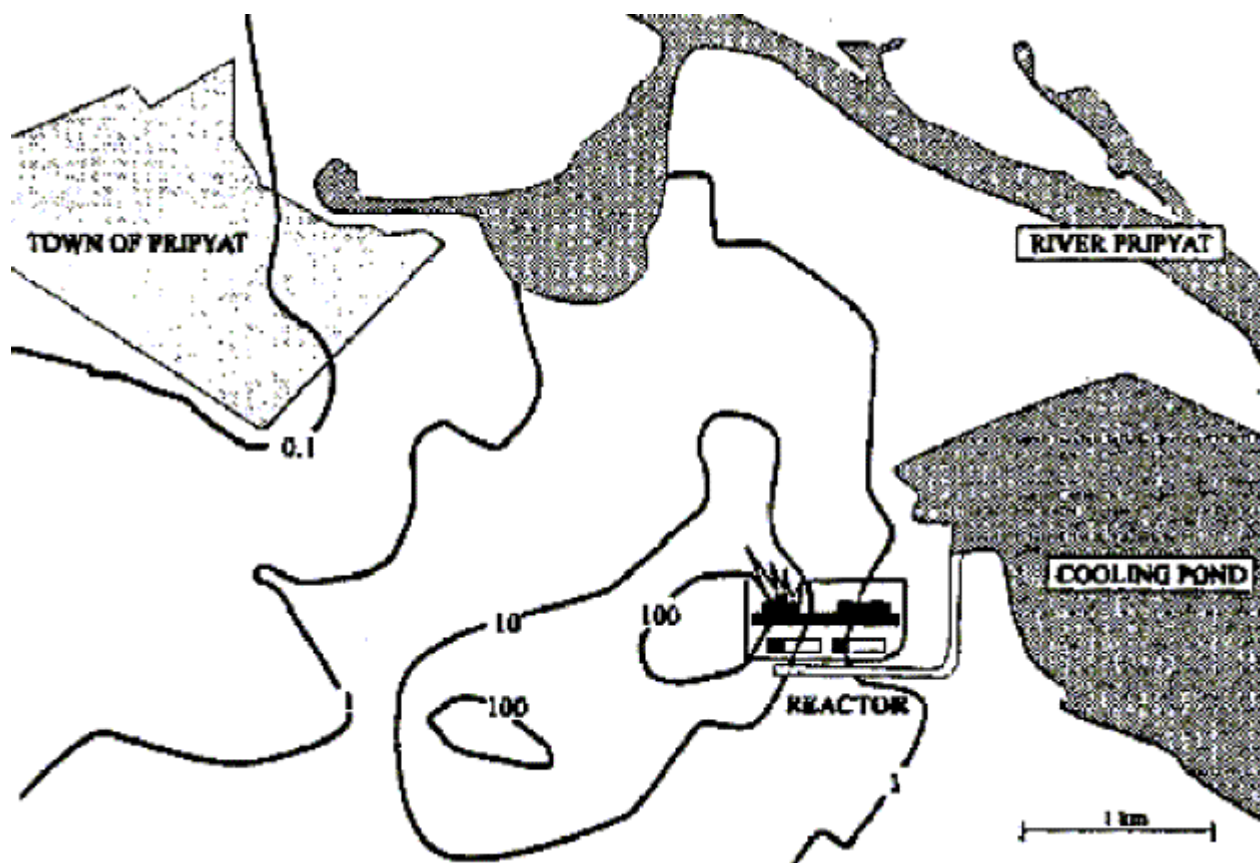
a) Po przekroczeniu pewnej temperatury następuje w wodzie wrzenie pęcherzykowe - na ściankach prętów paliwowych pojawiają się pęcherzyki powietrza, które odrywają się od koszulek prętów i ulegają kondensacji. Po przekroczeniu temperatury nasycenia pęcherzyki mają tendencję do łączenia się i wytwarzają warstwę parową przy ściankach prętów paliwowych. Przekazywanie ciepła znacząco maleje, temperatura więc wzrasta, a w wyniku tego procesu następuje ostatecznie przegrzanie koszulek ochronnych prętów paliwowych i ich przepalenie.

Celem odizolowania zniszczonego reaktora od środowiska zamknięto go wewnątrz wielkiego żelbetowego sarkofagu i w takim stanie znajduje się on do dziś.

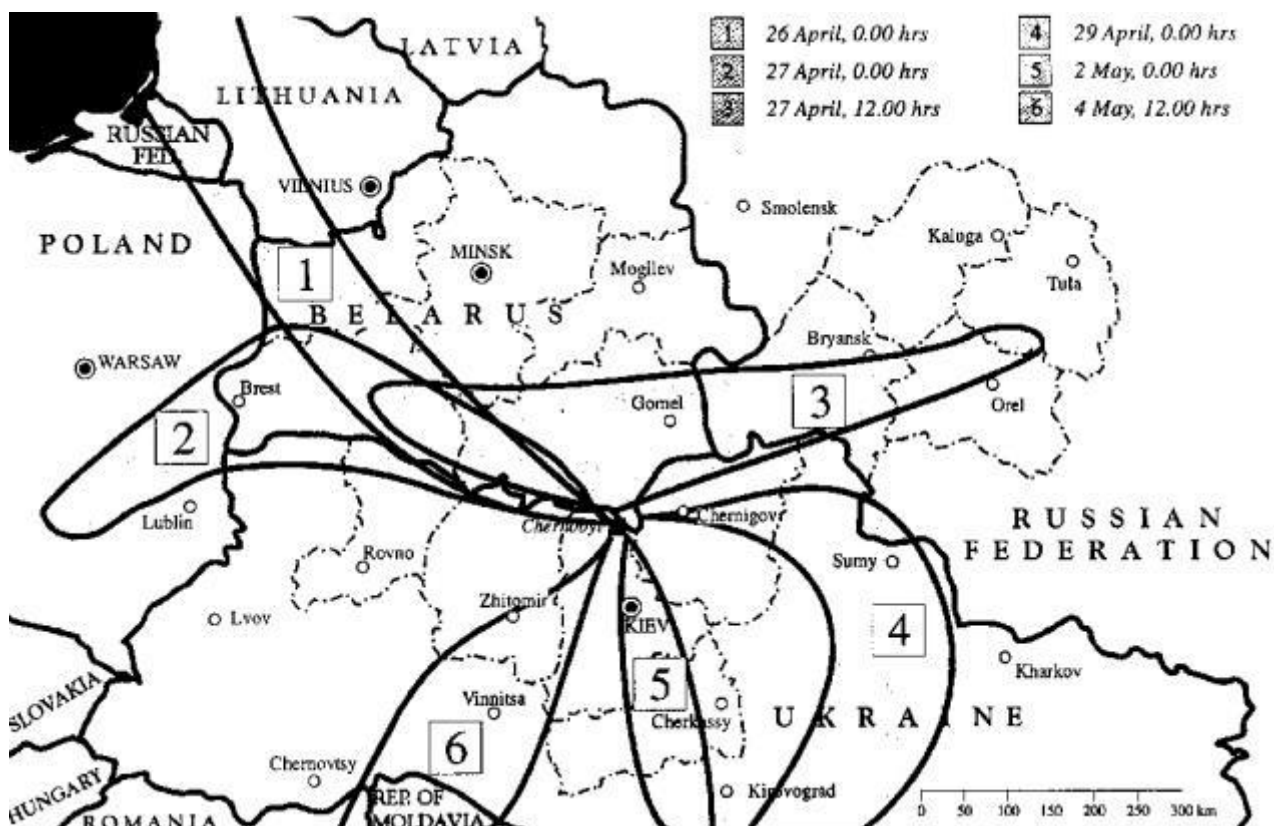
Mimo wciąż dużego zagrożenia, w wyniku odgórnych nacisków nie podjęto decyzji o natychmiastowym wyłączeniu pozostałych bloków energetycznych. Jedynie operator reaktora w bloku trzecim (bezpośrednio sąsiadującym ze zniszczonym blokiem czwartym), wbrew rozkazom przełożonych, wyłączył reaktor. Z decyzją o wyłączeniu pozostałych dwóch zwlekano kilka dni.

Ograniczenia spożycia mleka i innych skażonych produktów wprowadzono dopiero 23 maja, a jod stabilny zaczęto podawać ludności około 25 maja. Z powodu trudności organizacyjnych akcją tą objęto tylko ok. 1,6 mln dzieci.

Poniżej przedstawiono zmierzone moce dawek w powietrzu 26 kwietnia 1986 r oraz rozprzestrzenianie się obłoku promieniotwórczego w ciągu kolejnych dni.



Rys. 3 Moce dawek w powietrzu wokół reaktora w Czarnobylu zmierzone 26.04.1986 r. (w R/h tj. 0,01 Gy/h)



Rys.4 Rozprzestrzenianie się obłoku radioaktywnego wokół Czarnobyla 26 kwietnia–4 maja 1986r.

W tabeli poniżej podano ilość izotopów promieniotwórczych wyemitowanych do atmosfery w wyniku awarii czarnobylskiej.

EMISJA RADIONUKLIDÓW DO ATMOSFERY W WYNIKU AWARII REAKTORA W CZARNOBYLU

Izotop	Okres połowicznego zaniku	Ilość [10^{15} Bq]
Cs-134	2,06 lat	19
Cs-137	30 lat	38
I-131	8,04 dni	260
Xe-133	5,3 dni	1700
Mo-99	2,8 dni	110
Zr-95	64 dni	140
Ru-103	39 dni	120
Ru-106	368 dni	60
Ba-140	12,7 dni	160
Ce-141	32,5 dnia	100
Ce-144	284 dni	90
Sr-89	50,5 dni	80
Sr-90	29,2 lat	8

Dla porównania, naturalna emisja alfa-promieniotwórczego radonu-222 do atmosfery wynosi $33\,000 \cdot 10^{15}$ Bq rocznie, a więc o rząd wielkości więcej niż sumaryczna emisja w wyniku awarii reaktora w Czarnobylu.

5. PRZESIEDLENIA

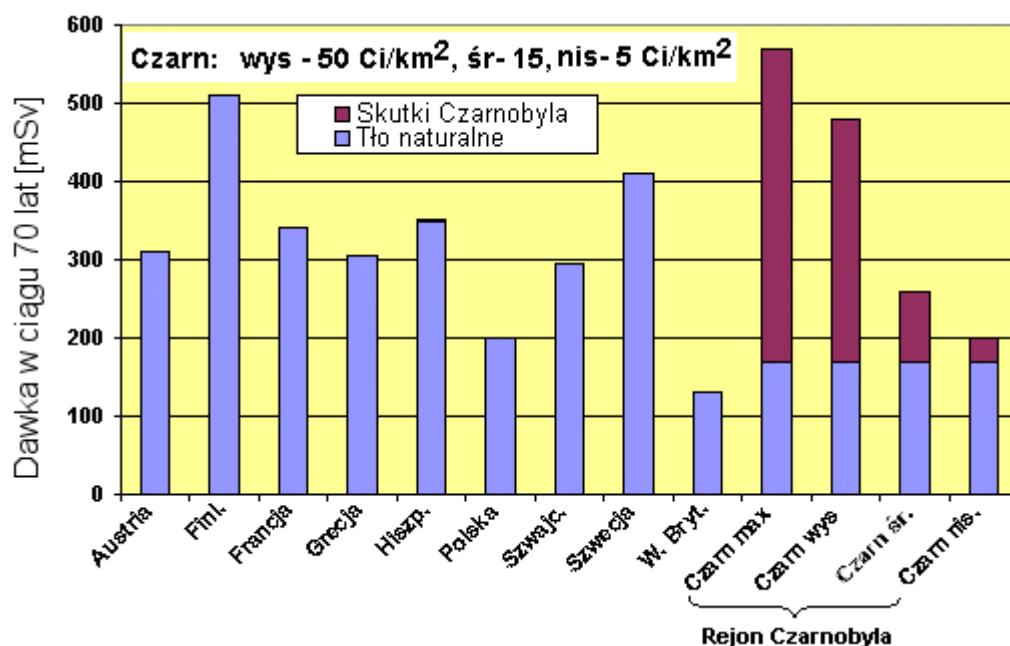
Wokół Czarnobyla wyznaczono strefę bezpieczeństwa o promieniu 30 km, z której wysiedlono całą ludność. Podjęta akcja przesiedleńcza została przeprowadzona bardzo sprawnie, choć w wielu przypadkach nie miała ona głębszego uzasadnienia. W dniach 27 kwietnia-7 maja 1986 r. wysiedlono ok. 116 000 osób. (Już wtedy naukowcy radzieccy doradzali, aby większość z nich pozostawić w spokoju.) W późniejszych latach w trzech najbardziej poszkodowanych republikach radzieckich przesiedlono jeszcze 220 tys. osób.

Pierwsza ewakuacja 49 360 osób z miasta Prypeć wybudowanego dla pracowników ok. 4 km od EJ Czarnobyl oraz 254 osób z pobliskiego Janowa przeprowadzona 27 kwietnia miała uzasadnienie, gdyż w tym dniu istniała możliwość przebicia się stopionego rdzenia do dolnych pomieszczeń, w których mogła znajdować się woda. W takim przypadku wybuch pary wodnej mógł spowodować znaczące skażenie miasta, co stanowiłoby zagrożenie dla ludności. Natomiast wysiedlenie ok. 170 000 osób z innych miejscowości, którym wspomniane niebezpieczeństwo nie zagrażało, było błędem, który wyraźnie odbił się na późniejszym zdrowiu przesiedleńców.

Akcja opierała się na słabo uzasadnionym zaleceniu władz aby ewakuować ludność z terenów skażonych cezem-137 na poziomie powyżej 37 kBq/m^2 , które to skażenie generuje dawkę promieniowania $0,2 \text{ mSv/rok}$ czyli ponad dziesięciokrotnie mniejszą niż średnia dawka pochodząca od naturalnych źródeł promieniowania.

Dalsze decyzje o ewakuacji i przesiedleniach (czasem na tereny bardziej skażone niż te wysiedlane) były podejmowane – często wbrew opiniom specjalistów – przez czynniki polityczno-administracyjne jeszcze do roku 1992.

W oparciu o nieracjonalne przepisy wysiedlano ludzi z terenów o poziomie promieniowania niższym niż naturalne tło w Norwegii. Czasem przesiedleńcy w miejscu docelowym otrzymywali większe dawki promieniowania od radonu z podłoża, niż otrzymywaliby ze skażeń pozostawszy w domu. Z Prypeci wysiedlono ludzi do miejscowości Pleskoje, gdzie dawki na tarczycę od jodu-131 były 5 razy większe niż w opuszczanym miejscu.



Rys. 5 Porównanie dawek jakie mogliby otrzymać przez całe życie mieszkańcy rejonu Czarnobyla z dawkami otrzymywanymi w ciągu 70 lat życia w różnych krajach Europy

Jak widać, dawki od tła naturalnego np. w Finlandii są większe niż dawki w okolicy Czarnobyla o niskim, średnim a nawet wysokim stopniu skażenia. Dopiero przy najwyższych skażeniach występujących na bardzo małym terenie wokół Czarnobyla dawki w ciągu życia nieco przekraczają średnie dawki w Finlandii, ale pozostają nadal mniejsze niż dawki lokalne w wielu rejonach Finlandii, Szwecji, Francji i Hiszpanii. A przecież nikt nie zamierza ewakuować Finlandii, lub usuwać milionów Francuzów z rejonu Masywu Centralnego!

Tymczasem na miejscu podejmowano kontrowersyjne decyzje. Np. cztery dni po pierwszym wybuchu Komisja Rządowa odrzuciła amerykańską ofertę dostarczenia tabletek jodowych dla ochrony ludności.

W czasie akcji ratowniczej i dalszych działań zmarnowano wielkie pieniądze, które zainwestowane w poprawę jakości życia przyniosłyby pozytywny skutek bez jakichkolwiek przesiedleń.

6. SYTUACJA ZDROWOTNA NA UKRAINIE I BIAŁORUSI

Jednym z najświeższych opracowań opisujących zdrowotne, środowiskowe i społeczno-ekonomiczne skutki awarii czarnobylskiej jest raport „Forum Czarnobylskiego” ogłoszony w Wiedniu 5 września 2005 roku. Forum tworzą Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA), Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), Agencje ONZ (FAO, UNDP, UNEP, UN-OCHA, UNSCEAR) oraz rządy Białorusi, Rosji i Ukrainy. Zdaniem autorów raportu, z powodu awarii Czarnobylskiej EJ śmierć poniosło 50 osób, a może umrzeć jeszcze 4 tysiące (autorzy nie podają na czym opierają swoją pesymistyczną prognozę). Niestety, dane i niektóre interpretacje przedstawione w tym Raporcie – choć znacznie bardziej wyważone niż wiele wcześniejszych doniesień – stoją w istotnej sprzeczności z precyzyjnymi danymi UNSCEAR (Komitet Naukowy ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego), a także z interpretacjami przyczyn rejestracji zwiększonej liczby zachorowań na terenie Białorusi, Rosji i Ukrainy.

Według Raportu, owe 50 ofiar śmiertelnych to dwaj pracownicy elektrowni, około 40 likwidatorów skutków awarii i osoby, które zmarły na raka tarczycy o udokumentowanym związku z awarią. Tymczasem dane UNSCEAR’u mówią o 28 ofiarach ostrej choroby popromiennej, zmarłych w ciągu 4

miesiące od awarii oraz 3 ofiarach zmarłych z innych przyczyn. Choć prawdą jest, że do roku 2004 z pozostałej grupy 106 osób zmarło 19, jednak liczba ta w ciągu niemal 20 lat jest normalną umieralnością w populacji nie narażonej radiacyjnie. Przyznaje to zresztą raport Czarnobylski, ale by być po bezpiecznej stronie wlicza wszystkie te zgony do ofiar Czarnobyla.

Jeszcze bardziej niewiarygodna jest prognoza 4 tysięcy zgonów (którą nie wiadomo jak potwierdzić). Niewątpliwie wynika ona z arbitralnie przyjętej w 1951 roku przez Międzynarodowy Komitet Ochrony Radiologicznej (ICRP) *liniowej bezprogowej hipotezy skutków promieniowania* (LNT) przyjmowanej dla potrzeb oceny narażenia osób zawodowo stykających się z promieniowaniem. Hipoteza ta zakłada, że każda dawka promieniowania jonizującego szkodzi. Jednak hipoteza zawodzi w zakresie małych dawek porównywalnych z dawkami od tła naturalnego i jej usilne lansowanie w radiobiologii nie jest uprawnione jako sprzeczne z wynikami badań epidemiologicznych i wiedzą przyrodniczą (toksykologia, fizjologia, onkologia). Czytelnikom zainteresowanym tą tematyką polecamy raport pt. [Hormeza – zjawisko powszechne i powszechnie nieznanie](#).

Minęło już dostatecznie wiele lat, aby prognozowane nowotwory mogły się rozwinąć i zmanifestować. Tymczasem jak wynika z raportu Forum, wśród ratowników rosyjskich stwierdzono około 30% mniejszą umieralność na raki niż średnio w Rosji, a wśród ludności tzw. terenów silnie skażonych epidemiolodzy nie zauważyli żadnego wzrostu zachorowań na nowotwory (inne niż tarczycy – patrz niżej).

Nie stwierdza się też (co wcale nie dziwi specjalistów) wad genetycznych u potomstwa osób napromieniowanych. Stwierdzono natomiast (i to już w pierwszym roku!) znaczny wzrost tzw. niemych raków tarczycy, szczególnie u dzieci. Pogląd, że wzrost ten miał za swą przyczynę zwiększony poziom promieniowania w wyniku awarii był od początku kwestionowany, gdyż z wielu danych wiadomo, że raki tarczycy rozwijają się przez wiele lat zanim się ujawnią. Ponadto z danych epidemiologicznych osób poddanych leczeniu promieniotwórczym jodem wiadomo, że wystąpił u nich nie wzrost, lecz przeciwnie, deficyt raków tarczycy. Dawki zaabsorbowane przez ludność wokół Czarnobyla (patrz tabela) były rzędy dziesiątki razy niższe, tak więc nawet blokowanie tarczycy stabilnym jodem zapewne niewiele zmieniło i tak nikły stopień narażenia.

Sprawą zajmował się przez długie lata Komitet UNSCEAR, który w końcowych wnioskach swojego „Raportu 2000” nt. skutków zdrowotnych wypadku w Czarnobylu stwierdził, że:

(...)liczba raków tarczycy (około 1800) u osób napromieniowanych w dzieciństwie, zwłaszcza w silnie skażonych rejonach trzech krajów (Białorusi, Ukrainy i Rosji), jest znacznie większa niż oczekiwano na podstawie wcześniejszej wiedzy. Wysoki stopień zachorowalności i krótki okres ujawniania się tych raków są nietypowe. Przyczyną ich powstawania mogą być czynniki inne niż promieniowanie.

Jednym z tych czynników są tzw. „nieme” raki tarczycy, nie dające łatwo dostrzegalnych objawów klinicznych, które masowo występują wszędzie na świecie. Tak np. w Kanadzie częstość niemych raków tarczycy wynosi 6 na 100 000 osób, w Polsce 9, w USA 13, a w Finlandii 35. Największy wzrost rejestracji raków tarczycy wystąpił w rejonie Homla na Białorusi: 18 raków na 100 000 mieszkańców. Zatem potencjał dla wykrycia „dodatkowych” raków w wyniku udoskonalenia i zwiększenia częstości badań tarczycy jest ogromny. Na szczęście wyleczalność raków tarczycy jest bardzo wysoka, w dobrych ośrodkach sięga powyżej 90%. Dotąd z powodu raka tarczycy zmarła na skażonych terenach jedna dziewczynka (wg innych źródeł – troje dzieci).

Średnie dawki efektywne otrzymane w latach 1986-95 na terenie skażonym po awarii w Czarnobylu (UNSCEAR Report 2000, Vol. 2, str. 541)

Kraj	Średnia dawka efektywna [mSv]			
	Ze źródeł wewnętrznych	Ze źródeł zewnętrznych	Łącznie w ciągu 9 lat	Rocznie
Białoruś	5,1	2,9	8,0	0,9
Federacja Rosyjska	4,3	2,5	6,8	0,8
Ukraina	4,7	6,1	10,8	1,2

Są to dawki mniejsze od średnich dawek otrzymywanych ze źródeł naturalnych. Z całej populacji 5 159 887 osób napromieniowanych w wyżej wymienionych trzech krajach tylko 1123 osoby otrzymały w ciągu 9 lat dawkę powyżej 200 mSv (wyłączając dawki na tarczycę; UNSCEAR Report 2000, Vol. 2, str. 542).

Jak wynika z raportu UNSCEAR 2000, poza rejestrowanym wzrostem zapadalności na raka tarczycy nie zaobserwowano wzrostu zachorowań i zgonów na nowotwory złośliwe które mogłyby być spowodowane promieniowaniem jonizującym. Ryzyko zachorowania na białaczkę, będące jednym z większych zagrożeń (białaczka jest pierwszym nowotworem, który pojawia się po napromieniowaniu ze względu na krótki okres utajenia 2-10 lat), nie uległo podwyższeniu, nawet wśród członków ekip ratowniczych. Nie ma również dowodów wzrostu zachorowań na wywołane promieniowaniem choroby nie nowotworowe. Natomiast na szeroką skalę wystąpiły reakcje psychologiczne związane z awarią i spowodowane głównie strachem przed promieniowaniem, działaniem władz i mediów, a nie działaniem promieniowania.

Dominującym czynnikiem jest stres będący następstwem przymusowych przesiedleń i zerwaniem więzi społecznych. Sytuację komplikuje rozprzestrzenianie się fałszywych informacji na temat konsekwencji awarii np. o dziesiątkach lub setkach tysięcy ofiar wymienianych zarówno przez różne oficjalne czynniki, jak i proroków apokalipsy o rozmaitym rodowodzie. Sensacje zmyślane i powielane przez dziennikarzy, oraz hasła „ekowojowników” (osób chętnych do walki z czymkolwiek) trafiały na podatny grunt powszechnej ignorancji, tym łatwiej, że uzasadniane były wynikami ekspertyz przedstawianych przez rządy poszkodowanych krajów, którym zależało na uzyskaniu zachodniej pomocy. Dodatkowo występują jeszcze efekty psychospołeczne uwarunkowane politycznymi, ekonomicznymi i społecznymi zmianami ostatnich lat. Nie da się ich odróżnić od psychosomatycznych konsekwencji awarii w Czarnobylu.

Trzeba na koniec przypomnieć (zwłaszcza tym, którzy uważają, że awaria w Czarnobylu była największą katastrofą XX wieku), że spowodowany katastrofą opad promieniotwórczy trwał stosunkowo krótko i był mniejszy niż ten, który spadał na nas rok w rok na przełomie lat 50- i 60-tych wskutek próbnych wybuchów broni jądrowej dokonywanych przez mocarstwa nuklearne. Były to razem 2419 wybuchy (łącznie 1073 Mt TNT), w czym 543 o łącznej mocy 440 Mt przeprowadzone w atmosferze. Dla porównania wybuchy w Hiroszimie i Nagasaki miały łączną moc ok. 0,035 Mt TNT. Rekord mocy należy do bomby wodorowej o mocy około 50 Mt odpalanej przez ZSRR na Nowej Ziemi 30 X 1961 r. (dane za raportem UNSCEAR). O tym, że awaria reaktora w Czarnobylu dalece nie była największą katastrofą przemysłową piszemy w oddzielnej sekcji.

7. DZIAŁANIA PODJĘTE W POLSCE

Nim przejdziemy do opisu wydarzeń w Polsce warto zaznaczyć, że w interesującym nas okresie historii od 1964 r. Polska dysponowała sprawną Służbą Pomiarów Skażeń Promieniotwórczych (SPSP) koordynowaną przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) w Warszawie. W skład SPSP wchodziło 140 punktów pomiarowych rozmieszczonych na terenie całej Polski plus 2 stacje pomiarowe w CLOR. Ponadto CLOR miało możliwość mierzenia skażeń w przestrzeni powietrznej aż do wysokości stratosferycznych. CLOR był również dobrze przygotowany do podjęcia wyzwań, które stwarzałyby ewentualna wojna jądrowa. Dzięki temu z chwilą zdobycia informacji o skali awarii i skutków jakie może ona wywołać w Polsce CLOR stał się jedynym rzetelnym źródłem informacji i organem, które mógł w kompetentny sposób sugerować rządowi podejmowanie odpowiednich działań chroniących ludność przed konsekwencjami katastrofy.

27 kwietnia ani w Polsce ani innych krajach nie spodziewano się awarii jądrowej. Plany obrony cywilnej na wypadek wojny jądrowej przystawały tylko częściowo do potrzeb sytuacji wynikłej z awarii reaktora jądrowego znajdującego się w okolicy Polski. Jednak wojskowy system wykrywania skażeń promieniotwórczych był dostosowany do znacznie wyższych poziomów promieniowania występujących po ataku jądrowym.

Polacy nie otrzymali z ZSRR żadnych informacji o katastrofie (mimo ustaleń obowiązujących w krajach RWPG od 1984 roku), co opóźniło nasze przygotowania ochronne o około półtora dnia.

28 kwietnia rano placówka SPSP w Mikołajkach (a potem kolejno inne) zgłosiła CLOR kilkakrotny wzrost mocy dawki promieniowania w powietrzu. W całej służbie SPSP wprowadzono alarmowy system pracy. Jak wspomina prof. Zbigniew Jaworowski z CLOR [Australian Radiation Protection Society Newsletter, 2004] o godzinie 9 został poinformowany, że stwierdzona w Mikołajkach radioaktywność w powietrzu była 550 000 razy wyższa niż poprzedniego dnia. Podobny wzrost aktywności został też zaobserwowany w samym CLOR w Warszawie. Oczywiście po pierwsze obawiano się, że podwyższony poziom promieniowania może pochodzić z wybuchu jądrowego. Na szczęście wkrótce okazało się, że skład izotopowy chmury radioaktywnej wskazuje na awarię reaktora jądrowego. Dalsze raporty otrzymywane ze 140 stacji monitoringu wskazywały na przesuwanie się chmury na zachód i na ZSRR jako miejsca awarii reaktora.

Informacja o powstawaniu skażeń promieniotwórczych w wyniku poważnej awarii reaktora była szokiem dla specjalistów: poziom promieniowania w powietrzu w momencie przechodzenia chmury radioaktywnej był setki i tysiące razy wyższy od tego, który rejestrowano w latach sześćdziesiątych kiedy to opad promieniotwórczy był skutkiem prób jądrowych.

Chmura radioaktywnego powietrza przesuwała się nad północno-wschodnią Polską. W południe w Warszawie stężenie izotopu cez-137 w powietrzu było ponad 80 000 razy większe niż średnio rok wcześniej, stężenie izotopu jod-131 wyniosło około 100 Bq/m³ (przed awarią był niewykrywalny), zaś moc dawki promieniowania gamma była około 3 razy większa niż przeciętna. Pomimo tego globalna wielkość mocy dawki w ciągu pierwszego roku po katastrofie wzrosła w Polsce średnio o 0,3 mSv, a więc niewiele w porównaniu z roczną dawką naturalnego promieniowania (około 2,4 mSv). Dlatego – gdyby w owym czasie można było zachować zimną krew – podejmowanie szczególnych akcji ochronnych nie było konieczne. Problemem był jednak brak informacji o możliwym dalszym przebiegu katastrofy. Istniała obawa, że sytuacja radiacyjna Polski może się znacznie pogorszyć, zarówno poprzez zwiększenie emisji ze zniszczonego reaktora, jak i wskutek niekorzystnej sytuacji meteorologicznej. Należało jak najszybciej poinformować rząd i podjąć działania chroniące ludność przed skutkami awarii

Około godziny 11 CLOR przedstawiło sytuację Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki. Wkrótce potem na filtrze w CLOR zebrano pył promieniotwórczy z około 500 m³ powietrza i stwierdzono, że jego skład izotopowy był typowy dla procesów reaktorowych, a nie wybuchu jądrowego.

O godzinie 17 informację o zagrożeniu radiacyjnym kraju CLOR przekazało Sekretarzowi Naukowemu PAN, który zobowiązał się zawiadomić premiera.

W CLOR przygotowano zalecenia ochronne. Niektóre meldunki zawierały omyłkowo zawyżone wyniki i zastraszające informacje trafiły do publicznej wiadomości. Większość pomiarów mocy dawki wskazywała jednak, że nie ma zagrożenia zdrowia od zewnętrznego promieniowania gamma. Natomiast promieniotwórcze izotopy jodu wchłonięte do organizmu mogą ulec koncentracji w tarczycy. Z pobieżnych ocen wynikało, że dawka promieniowania od promieniotwórczego jodu w tarczycy dzieci może przekroczyć 50 mSv, powyżej którego Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) zalecała blokowanie tarczycy jodem nie radioaktywnym.

Dopiero o godzinie 18 radio BBC podało informację o awarii reaktora w Czarnobylu. Połączenia z Czarnobyliem były wówczas odcięte przez KGB. Agencja TASS podała mocno okrojoną informację dopiero późnym wieczorem.

O godzinie 18.30 CLOR zwrócił się do Instytutu Technicznego Wojsk Lotniczych z prośbą o codzienne pobieranie prób powietrza z siedmiu wysokości w troposferze i stratosferze wzdłuż północno-wschodniej granicy. W następnych dniach wykonano 60 lotów, a zdobyte w ten sposób informacje wykorzystano do prognozowania skażeń.

W godzinach popołudniowych nawiązano kontakt ze specjalistami z innych krajów (Anglii, Francji, Finlandii, Szwecji) wymieniając informacje o skażeniach oraz planowanych przedsięwzięciach.

29 kwietnia o godzinie 4.00 w KC PZPR rozpoczęło się posiedzenie kilku członków Biura Politycznego, członków rządu i Komitetu Obrony Kraju. Wzięli w nim udział dwaj eksperci z CLOR oraz Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii. Przyjęto główne kierunki ochrony ludności i uzgodniono, że o sytuacji należy poinformować społeczeństwo w porannych audycjach radiowych, a następnie w prasie i w telewizji.

O godzinie 6.00 generał Wojciech Jaruzelski przybył na to posiedzenie i powołał specjalną Komisję Rządową pod przewodnictwem wicepremiera Zbigniewa Szajajdy. Komunikatów dla społeczeństwa nie ogłoszono. W raporcie Komisji Rządowej nie ma wzmianki o nocnym posiedzeniu w KC podczas którego podjęto najważniejsze decyzje. Pierwsze zebranie komisji Rządowej rozpoczęło się o godzinie 8.00. Około godziny 11.00 podjęto formalną decyzję o wprowadzeniu profilaktyki jodowej.

W Ministerstwie Zdrowia ustalono (pierwsza taka decyzja w historii), że formą masowej profilaktyki jodowej będzie podanie nie tabletek z jodkiem potasu (KJ), lecz tzw. płynu Lugola. Akcje rozpoczęto wieczorem i kontynuowano nocą w województwach północno-wschodnich. Akcja przebiegała bardzo sprawnie. Podawanie płynu Lugola zorganizowano we wszystkich przedszkolach, szkołach, ośrodkach zdrowia i aptekach. Około 75% populacji dzieci Polsce w tych województwach przyjęło stabilny jod w ciągu pierwszych 24 godzin akcji. W innych rejonach kraju, odpowiednio do zmieniającej się sytuacji radiacyjnej, akcja ciągnęła się jeszcze do 5 maja. Jod otrzymało 18,5 miliona osób, w tym 10,5 miliona dzieci. W świetle danych o wpływie promieniotwórczego jodu na tarczycę, jakimi dziś dysponujemy, była to nadmierna ostrożność, jednak wtedy, w warunkach ograniczonej wiedzy oraz niepewności co do rozwoju sytuacji radiacyjnej, decyzja ta była słuszną. Stała się ona przykładem umiejętności szybkiego podejmowania decyzji i przeciwdziałania potencjalnym skutkom katastrofy. Obecnie jest powszechnie na świecie uznawana za wzorową. Dla porównania: po wypadku EJ w Three Mile Island w

USA tabletki jodowe dostarczono w rejon awarii dopiero po 8 dniach, a w ZSRR profilaktykę jodową rozpoczęto 25 maja 1986 r., a więc w miesiąc po awarii.

30 kwietnia skażenia dotknęły już cały kraj. Jeszcze przed południem rejestrowano w Warszawie wysokie skażenie powietrza, które jednak po południu i w nocy szybko spadło.

Ze względu na skażenia żywności i konieczność ochrony zdrowia dzieci, na żądanie Komisji w pierwszych dniach maja sprowadzono z zagranicy 2000 ton mleka w proszku. Holandia, główny eksporter tego mleka odmówiła Polsce dostawy. Interwencja ambasadora USA w Warszawie Johna Davisa spowodowała natychmiastową wysyłkę amerykańskiego mleka w proszku do Holandii drogą morską. Wtedy Holandia zdecydowała się wysłać samolotami mleko potrzebne polskim niemowlętom. Holenderskie mleko pojawiło się w sklepach następnego dnia.

W ciągu maja CLOR i Instytut Energii Atomowej w Świerku prowadziły pomiary zawartości izotopów promieniotwórczych w ciałach osób z rejonu Warszawy i dalszych okolic. Pomiary jodu promieniotwórczego w tarczycy prowadzono w CLOR, Zakładzie Ochrony Radiologicznej IEA w Świerku, Zakładzie Medycyny Nuklearnej Centralnego Szpitala Klinicznego WAM w Warszawie, a także w innych placówkach wojskowych zakładów leczniczych. Stacje SPSP prowadziły masowe pomiary skażeń mleka, roślin i gleby na terenie całego kraju. W połowie maja prezes PAA uniemożliwił wykonanie pomiarów jodu-131 w tarczycy dzieci i dorosłych wschodnich rejonów Polski.

31 maja na polecenie prezesa PAA wstrzymano wszystkie pomiary jodu-131 w tarczycy wykonywane przez CLOR.

Komisja Rządowa pracowała do **18 czerwca**. W swoim raporcie końcowym stwierdziła – zgodnie z danymi CLOR - że „ze względu na krótki okres występowania podwyższonych wartości mocy dawki, sumaryczna dawka roczna będzie leżała znacznie poniżej wartości dopuszczalnej wynoszącej 5 mSv/rok”. Pomiary zawartości izotopów gamma-promieniotwórczych w organizmach ludzi dorosłych (przebadano ponad 1000 osób) kontynuowano do końca 1986 roku, a na mniejszych grupach ludności, głównie z okolic Warszawy, także w latach późniejszych. Nie stwierdzono aby wchłonięte dawki były groźne dla badanych osób.

W r. 1988 Komitet UNSCEAR opublikował raport o Czarnobylu, w którym ocenił, że w ciągu pierwszego roku po katastrofie ludność Polski otrzymała średnio dawkę 0,3 mSv, a w ciągu następnych 70 lat otrzyma łączną dawkę promieniowania 0,9 mSv.

8. SKUTKI ZDROWOTNE W POLSCE

Jeszcze do tej pory w środkach masowego przekazu pojawiają się doniesienia o katastrofalnych dla Polaków skutkach awarii w Czarnobylu. Jest wiele osób, które straciły kogoś z bliskich, u kogo stwierdzono po roku 1986 chorobę nowotworową i którym lekarz powiedział, że przyczyną było skażenie promieniotwórcze. Są rodzice dzieci obciążonych wadami wrodzonymi, którzy odpowiedzialnością za to obarczają owo feralne wydarzenie. Nikomu zaś nie przychodzi do głowy użalać się na niemal 10-krotnie wyższą dawkę promieniowania naturalnego, czy na 1,5 razy wyższą dawkę promieniowania związanego z rentgenowską diagnostyką medyczną.

Minęło już 20 lat od skażenia promieniotwórczego spowodowanego opisywaną awarią. Czas ten wykorzystano na weryfikację różnych hipotez dotyczących skutków i na rzetelne analizy zdrowotności na terenach Polski. Nie ma żadnych wiarygodnych doniesień o zauważalnych zdrowotnych następstwach awarii czarnobylskiej (patrz niżej). Dotyczy to zarówno skutków wczesnych i bezpośrednich, jak też odległych, takich jak wady wrodzone lub nowotwory.

Średnia dawka na całe ciało jaką w ciągu 70 lat otrzymamy w Polsce w wyniku awarii czarnobylskiej wynosi 0,9 mSv, czyli jest mniejsza od 70-letniej dawki promieniowania naturalnego sięgającej około 170 mSv. Dla porównania, dawki kilku mSv rocznie są dopuszczalne dla zawodowo zatrudnionych przy promieniowaniu, a dawką graniczną w szczególnych przypadkach (osoby uczestniczące w ratowaniu życia ludzkiego) jest jednorazowo 500 mSv. Dopiero dawki powyżej ok. 200 mSv można uważać za szkodliwe (choć nie zabójcze), a zgony na chorobę popromienną zaczynają się pojawiać się przy około 1000 mSv i to przy założeniu, że poszkodowanemu nie udziela się pomocy lekarskiej.

Ryzyko wystąpienia zmian dziedzicznych na tle mutacji popromiennych jest w Polsce znikomo małe. Jak wynika z badań UNSCEAR ryzyko to jest poniżej 10^{-5} /mSv, czyli wielokrotnie mniejsze niż ryzyko wywołania nowotworu złośliwego.

Należy jeszcze raz podkreślić, że oceny przedstawiane przez różne organizacje (w tym także Forum Czarnobylskie, 2005) opierają się na bardzo pesymistycznych i naukowo nieuzasadnionych założeniach. Pierwszym z nich jest hipoteza, że każda dawka promieniowania szkodzi. Takie założenie przyjmowane do dziś w ochronie radiologicznej nie znajduje rzetelnego uzasadnienia w zakresie małych dawek i prognozy na nim oparte są zawyżone. Po drugie, za podstawę powyższych ocen bierze się wyniki programu *Life Span Study (LSS)*, opisujące skutki napromieniowania w Hiroszynie i Nagasaki, gdzie dawki i moce dawki były nieporównanie większe (a więc i skutki bardziej dramatyczne).

To, że w Polsce nie mamy się czego obawiać można wnosić na podstawie danych zamieszczanych w najnowszych raportach WHO i UNSCEAR. Jest to także główny wniosek opublikowanej jeszcze w roku 1999 pracy zbiorowej Dariusza Grafińskiego, Edwarda T. Józefowicza i Juliana Linieckiego: "Awaria czarnobylska – skutki zdrowotne w Polsce" (Polskie Towarzystwo Nukleonowe, Warszawa, 1999). Notabene, w cytowanym opracowaniu do ocen skutków zastosowano hipotezę LNT, której zasadność jest bardzo wątpliwa, a prognozy na niej oparte jak dotąd się nigdy nie sprawdziły.

Na internetowej stronie Państwowej Agencji Atomistyki <http://www.paa.gov.pl> czytamy:

Nie ma dotąd żadnych pewnych doniesień o zauważalnych zdrowotnych następstwach awarii czarnobylskiej w Polsce. Dawki, jakie otrzymali Polacy były tak małe, że nie mogą prowadzić do żadnych uchwytnych klinicznie skutków. Dotyczy to również możliwości zachorowań na raka tarczycy u dzieci polskich, dodatkowo ograniczonej nieco opóźnionym, ale jednak skutecznym podaniem profilaktycznych preparatów jodowych (płyn Lugola); ewentualność ta nie może być stwierdzona w żadnych badaniach epidemiologicznych. W sumie rozpowszechniane wielokrotnie, głównie w środkach masowego przekazu opinie o katastrofalnych następstwach zdrowotnych awarii czarnobylskiej w Polsce nie znajdują żadnego uzasadnienia w obiektywnych faktach. Na pewno spowodowały one powszechny lęk, obawy przed przyszłością i liczne inne szkody psychologiczne i nie tylko (np. aborcje). Może to być przyczynek do oceny poczucia odpowiedzialności dziennikarzy i innych osób, rozpowszechniających w naszym kraju nie sprawdzone i bałamutne informacje dla taniej sensacji.

W świetle przedstawionych wcześniej danych trudno zgodzić się z oceną o "nieco opóźnionej" akcji podania płynu Lugola, gdyż nawet dzisiaj zapewne akcja nie przebiegłaby sprawniej.

9. ROZPOWSZECZNIANIE INFORMACJI W POLSCE

28 kwietnia ostatnie dzienniki radiowe i telewizyjne przekazały krótką informację o wypadku w Czarnobylu.

29 kwietnia popołudniu ukazała się jedynie informacja, że dzień wcześniej nad Polską przeszedł na dużej wysokości radioaktywny obłok i że wszystko jest pod kontrolą. Przygotowano też informację o skażeniach kraju, której tekst został później całkowicie zmieniony przez Wydział Prasy KC oraz rzecznika prasowego rządu.

30 kwietnia podano kłamliwą informację, że nastąpiło jedynie przejściowe podwyższenie stężenia radioaktywnego jodu w powietrzu i że nie stwierdzono innych pierwiastków. To ostatnie kłamstwo było tak ewidentne, że przewodniczący Komisji Rządowej zapewnił, że manipulowanie informacją już się nie powtórzy. Tym, co skłoniło władze do podania prawdziwej informacji była sugestia, że Polska poniesie straty na eksporcie żywności, jeżeli przestaniemy być wiarygodni. Zalecono również nie spożywanie mleka od krów karmionych zieloną paszą, mycie nowalijek i ogłoszono profilaktykę jodową.

Po wspomnianej dyskusji w Komisji Rządowej dalsze informacje prasowe na temat awarii czarnobylskiej były zgodne z prawdą.

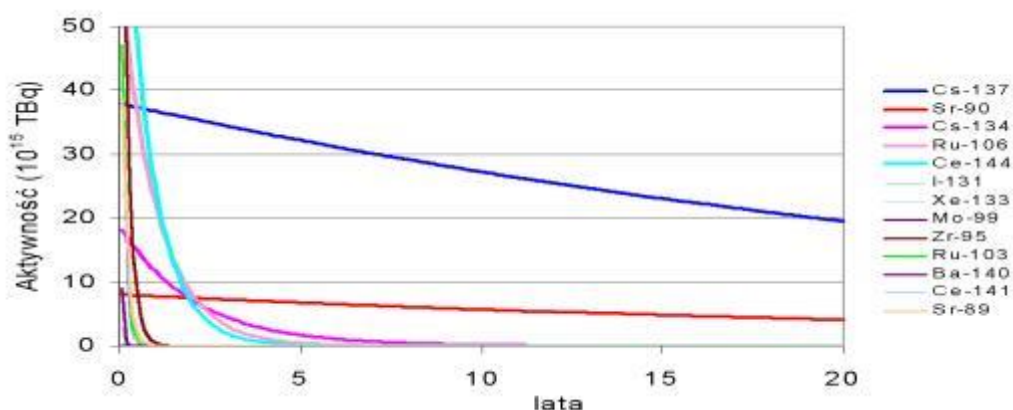
5 maja "Express Wieczorny" opublikował komunikat Komisji Rządowej wraz z wykazem średnich wartości skażeń kraju.

W państwach Zachodniej Europy szczycących się dojrzałą demokracją, swobodą prasy i troską o obywateli, informacja ukazała się w wersji szczątkowej i z dużym opóźnieniem. Jak się więc okazało, polska wczesna i ostatecznie rzetelna informacja była wyjątkowa w prasie światowej, a przez ekspertów amerykańskiej *Food and Drug Administration* została potem uznana za najbardziej przejrzystą i pożyteczną. Prasa zachodnioniemiecka wyraziła podobną opinię: "Polskie media zwróciły od początku na siebie uwagę obszerną i rzeczową informacją" (*Tages Anzeiger* 2.05.86); "Polacy w sposób najbardziej otwarty poinformowali własną opinię publiczną i zagranicę o skutkach awarii" (*Volksblatt Berlin* 3.05.86).

Wiele cennych i barwnych wspomnień z tego gorącego okresu można znaleźć w artykule prof. Jaworowskiego pt. „Demony Czarnobyla” opublikowanym w kwietniowym numerze *Świata Nauki* (2006 r.).

10. KOSZTY SPRZĄTANIA

Katastrofa w Czarnobylu jest globalnym zjawiskiem ekologicznym niespotykanego dotąd typu. Towarzyszy jej przede wszystkim ogólnoświatowa radiofobia, która nie ogranicza się do hałaśliwych akcji przeciwników energetyki jądowej, lecz przynosi wymierne straty zdrowotne (stres), społeczne (aborcje, przesiedlenia) i ekonomiczne (kierowanie sił i środków na niepotrzebne działania). Awarii towarzyszy dramat tysięcy uchodźców z okolic Czarnobyla wysiedlonych często bez potrzeby i w miejsca bardziej skażone. To wreszcie długotrwałe skażenie ziemi i wody na szczęście na ograniczonym obszarze.



Rys. 6 Zanik aktywności radioizotopów emitowanych do atmosfery w wyniku awarii w Czarnobylu

Źródłem strat są różnego rodzaju ograniczenia wprowadzone aby zmniejszyć narażenie na promieniowanie, które utrudniają normalną pracę przemysłu i rolnictwa. Prowadzi to do zubożenia ludzi i kolejnych stresów wpływających na zdrowie.

Zamknięcie elektrowni pozbawiło pracy bardzo wielu ludzi. Unia Europejska i Stany Zjednoczone mają pomóc w tworzeniu specjalnego programu, który ma złagodzić społeczne skutki katastrofy.

Poważnym i kosztownym problemem pozostaje tzw. sarkofag wokół zniszczonego reaktora, w którym znajduje się około 200 ton zużytego i świeżego paliwa, materiały promieniotwórcze oraz skażone urządzenia i przedmioty zakopane na terenach zamkniętych, które mogą – bez odpowiedniego dozoru – stanowić znaczne ryzyko skażenia wód gruntowych. W 1994 roku francuskie konsorcjum Alliance wygrało konkurs na projekt budowy supersarkofagu wokół już istniejącego sarkofagu. W przedsięwzięciu tym mają uczestniczyć liczne firmy europejskie. Rozpoczęto już wspólne prace. Jeśli projekt wejdzie w życie, materiały konstrukcyjne będą kosztować 20-30 mln USD, zaś planowane na 5 lat prace budowlane ponad 300 mln USD. Przewiduje się, że ostateczne zebranie radioaktywnych pozostałości po katastrofie zajmie ok. 30 lat.

Ustalono mechanizmy finansowania przez zagranicę wydatków na modernizację pracujących reaktorów jądrowych. Ostatni działający blok EJ Czarnobyl został zamknięty 15 grudnia 2000 r. Amerykanie dali 78 mln USD na konserwację sarkofagu nad IV blokiem elektrowni i 2 mln USD na poprawę bezpieczeństwa w innych elektrowniach. Tymczasem zamknięcie Czarnobyla, konserwacja sarkofagu i utworzenie nowych miejsc pracy dla pracowników elektrowni ma kosztować w sumie prawie 1500 mln USD.

W budżecie na rok 2000 rząd ukraiński przeznaczył na zamknięcie Czarnobyla zaledwie 20 mln USD. Amerykanie proponują, by przedsięwzięcie sfinansował Europejski Bank Odbudowy i Rozwoju. Sprzeciwiają się temu Niemcy, którzy nie zgadzają się na rozbudowę energetyki jądrowej na Ukrainie.

11. PORÓWNANIE SKUTKÓW AWARII CZARNOBYLSKIEJ ZE SKUTKAMI INNYCH AWARII I KATASTROF

Katastrofa w Czarnobylu ze swymi 31 (czy nawet jak podaje Forum Czarnobylskie – 50) ofiarami śmiertelnymi jest czasami nazywana „największą katastrofą XX wieku”. Co prawda liczba ludzi dotkniętych przesiedleniami sięgnęła setek tysięcy, ale mimo wszystko taka klasyfikacja wydaje się skrajnie amoralnym nadużyciem.

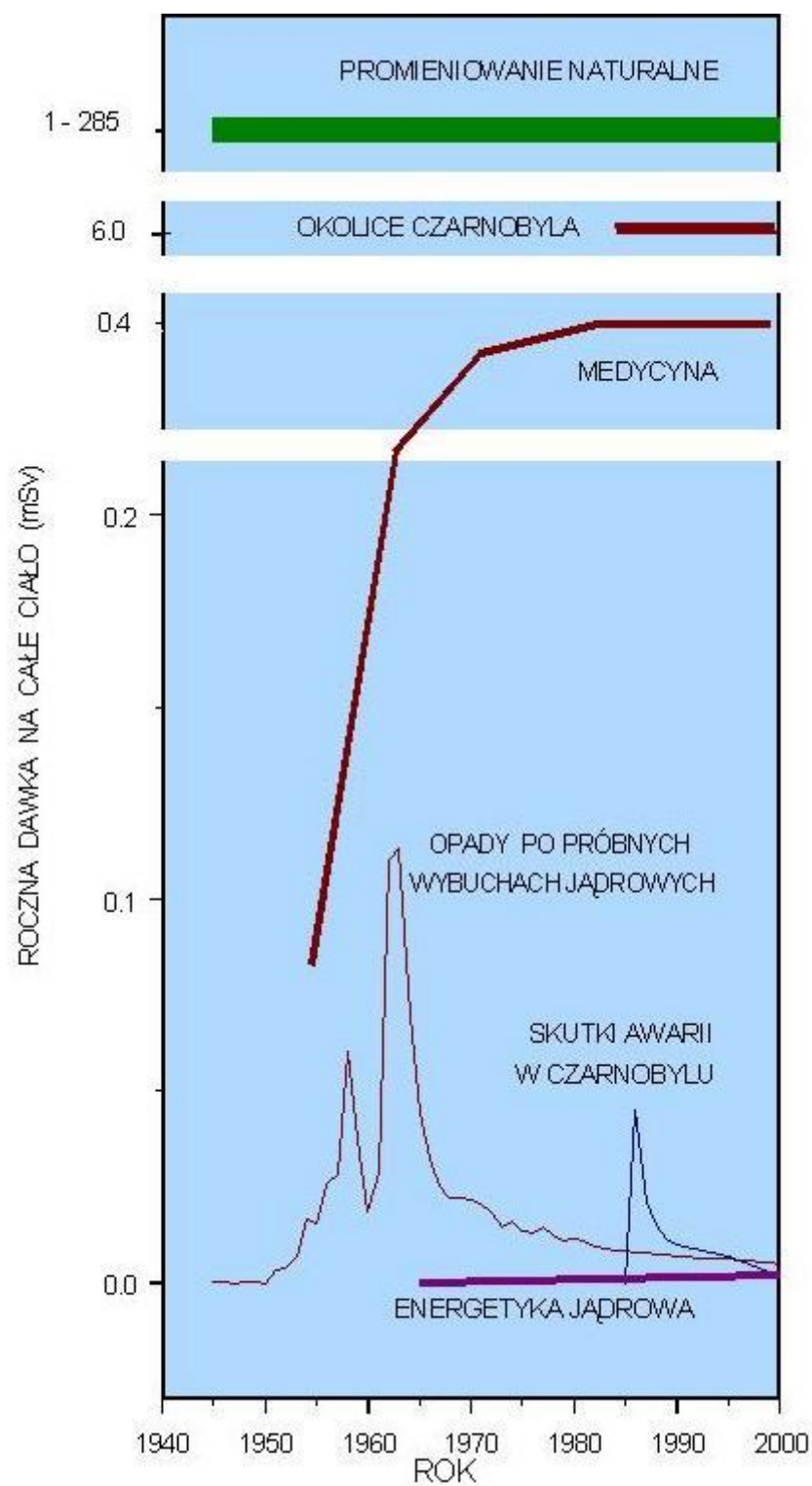
Choćby w pierwszych miesiącach 2006 roku 63 osoby poniosły śmierć w wyniku zawalenia się dachu w hali wystawowej w Katowicach, a w katastrofie na Morzu Czerwonym zginęło ponad 1000 pasażerów promu.

Aby skonstruować skalę odniesienia dla szkód związanych z Czarnobyłem z uszeregujemy wybrane katastrofy, które wydarzyły się po II Wojnie Światowej wg orientacyjnej liczby ofiar śmiertelnych:

Liczba ofiar	Katastrofa	Rok
0	Awaria reaktora jądrowego (Three Mile Island, USA)	1979
0	Przeciek chemiczny (Soveso, Włochy)	1976
0	Pożar reaktora (Windscale, Wielka Brytania)	1957
31	Pożar reaktora (Czarnobyl, ZSRR)	1986
300	Awaria w zakładach broni biologiczno-chemicznej (Nowosybirsk, ZSRR)	1979
421	Zniszczenie zapory rzecznej (Frejus, Francja)	1959
431	Wybuch w kopalni (Chasnała, Indie)	1975
452	Wybuch gazu naturalnego (Mexico City, Meksyk)	1984
562	Wybuch nawozów sztucznych (Teras City, USA)	1947
1 100	Wybuch dynamitu (Cali, Kolumbia)	1956
1 572	Wybuch pyłu węglowego w kopalni (Honkeiko, Chiny)	1947
2 600	Awaria zapory wodnej (Vaiont, Francja)	1963
15 000	Wyciek trującego gazu (Bhopal, Indie)	1984
110 000	Trzęsienie ziemi w Turkmenistanie, ZSRR	1948
138 000	Cyklon i powódź w delcie Gangesu (Bangladesz)	1991
295 000	Tsunami (Ocean Indyjski)	2004
400 000	Cyklon i powódź w delcie Gangesu (Bangladesz)	1970

Dla porównania warto też uświadomić sobie, że rocznie na świecie w wypadkach drogowych ginie około 1,2 miliona osób, zaś około 50 milionów odnosi rany (dane WHO). Nikt jednak nie kwestionuje potrzeby istnienia transportu drogowego, co więcej – większość ludzi chciałaby mieć samochód nawet bez uzasadnionej potrzeby.

Na rys. 7 pokazano **średnie** dawki promieniowania jonizującego na całe ciało pochodzące z różnych źródeł naturalnych i wyprodukowanych przez człowieka, na przestrzeni ostatnich 60 lat. Dawki wynikłe z katastrofy czarnobylskiej – poza bezpośrednim otoczeniem Czarnobyla – były znacznie mniejsze od tych, które są związane z rozwojem metod diagnostycznych i terapeutycznych wykorzystujących promieniowanie jonizujące w medycynie. Widać także jak niewielki wkład do dawki globalnej wnosi bezpieczna energetyka jądrowa.



Rys.7 Roczna dawka na całe ciało pochodząca z różnych źródeł na przestrzeni lat

12. ODRÓBMY WRESZCIE TĘ LEKCJĘ!

Jak mawiają w pewnej zaprzyjaźnionej szkole: „uczeń, który nie musi, nie zrobi”. W przypadku awarii czarnobylskiej wszyscy jednak coś musieli, więc odrobili lekcję lepiej lub gorzej, co dało rozmaite korzyści.

Bałagan, nieprzemyślane decyzje, okłamywanie opinii publicznej i władz zwierzchnich, oraz brak zdolności do sprawnego działania w sytuacji masowego nieszczęścia, pokazały nie tylko ułomności systemu ZSRR, ale również uzmysłowiły większości państw europejskich niewydolność ich systemów informacyjnych i systemów szybkiego reagowania na masowe zagrożenia.

Wobec tego, że energetyka jądrowa jest niezbędna zarówno dla Ukrainy jak i dla Federacji Rosyjskiej, oba te państwa zaplanowały budowę nowych elektrowni jądrowych. Ukraina uruchomiła bloki z reaktorami WWER o mocy 1000 MWe w elektrowni w Rovno i w elektrowni Chmielnicki, a Rosja planuje intensywną rozbudowę energetyki jądrowej opartą - podobnie jak na Ukrainie - na reaktorach WWER 1000, spełniających współczesne wymagania bezpieczeństwa jądrowego.

Bezpośrednią konsekwencją było zwiększenie bezpieczeństwa reaktorów używanych w Związku Radzieckim – modernizacja już istniejących reaktorów i uważniejsze podejście do spraw bezpieczeństwa w fazie projektowania nowych. Wprowadzono modyfikacje we wszystkich nadal czynnych reaktorach typu RBMK: w prętach kontrolnych dodano pochłaniacze neutronów i zwiększono wzbogacenie paliwa, dzięki czemu reaktory te przy małej mocy stały się znacznie bardziej stabilne. Automatyczne mechanizmy wyłączające działają obecnie szybciej, a inne mechanizmy bezpieczeństwa zostały udoskonalone. Duże znaczenie miała tu wymiana myśli naukowo-technicznej z krajami zachodu, które dodatkowo dały pomoc finansową. Pewne rozwiązania opracowane w związku z awarią mogły znaleźć zastosowanie także w zachodnich EJ. Po roku 1989 ustanowiono ponad 50 „związków bliźniaczych” między EJ na Wschodzie i na Zachodzie. Większości z nich patronuje Światowe Stowarzyszenie Użytkowników Elektrowni Jądrowych (*World Association of Nuclear Operators*) utworzone w roku 1989 i zrzeszające 130 użytkowników elektrowni jądrowych.

Według informacji PAA opracowanej na podstawie danych z *Nuclear Safety Assistance Coordination Centre* (Centrum Koordynacji Pomocy w Zakresie Bezpieczeństwa Jądrowego), pomoc udzielona przez Zachód to w sumie prawie 1 mld USD na ponad 700 projektów związanych z bezpieczeństwem reaktorów w państwach dawnego Bloku Wschodniego. W roku 1998 w ramach umowy z USA postanowiono, że w strefie wyłączonej powstanie międzynarodowe laboratorium radiologiczno-ekologiczne.

Paradoksalnie awaria w Czarnobylu wykazała, że energetyka jądrowa jest energetyką bezpieczną. Autorzy porównujący awarię czarnobylską do wybuchu jądrowego obnażają swoją głęboką niewiedzę o bombach. W Czarnobylu śmiertelne zagrożenie wystąpiło w strefie o promieniu 2 km od reaktora, natomiast śmiertelne skażenia po wybuchu bomby jądrowej o sile 1 Mt TNT rozciągają się w strefie o promieniu kilkuset kilometrów. O skutkach długofalowych nawet nie ma co wspominać.

Korzyścią dla państw najbardziej poszkodowanych i dla całej społeczności międzynarodowej jest opracowanie zaleceń i programów działań dotyczących sfer ekologicznej, zdrowotnej i społeczno-ekonomicznej. Przypomniano znaną z ochrony radiologicznej zasadę ALARA (napromieniowanie powinno być tak małe, jak to **rozsądnie** osiągalne), nakazującą dostosować działania do skali zagrożenia. Tak więc środki pomocowe powinny być adresowane do osób rzeczywiście poszkodowanych, programy medyczne powinny obejmować osoby faktycznie zagrożone, a osadnictwo, przemysł i rolnictwo powinny wrócić na tereny nadające się do eksploatacji (porzucone

często bez potrzeby). Część zaleceń pozostanie zapewne w sferze pobożnych życzeń, ale już samo sformułowanie ich ma swoją wartość.

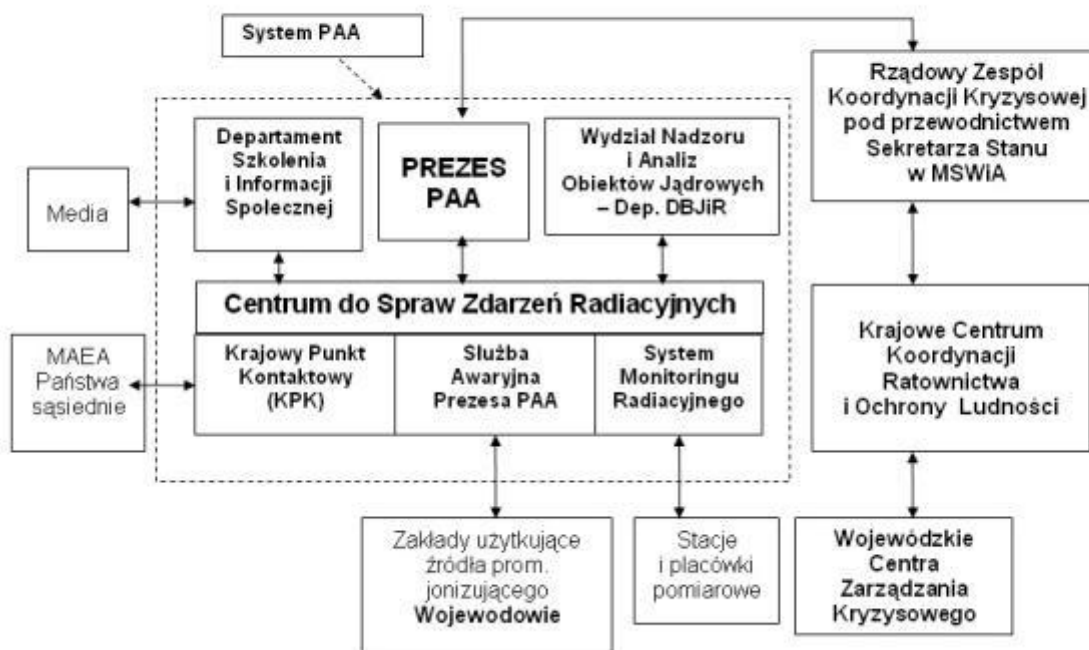
Przykłady takich zbiorów zaleceń można znaleźć w raportach:

- raport UNDP, UNICEF, UN-OCHA i WHO z 2002 r. *The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: A Strategy and Recovery*
- The Chernobyl Forum: *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*, IAEA 2005

Pytaniem, które można by zadać dzisiaj jest, czy w wypadku podobnej awarii EJ w pobliżu naszego kraju władze Polski reagowałyby szybciej, informowały sprawniej, a całość akcji byłaby koordynowana lepiej niż w roku 1986. Na pewno przypadek Czarnobyla wiele nas nauczył, ale odpowiedź na postawione pytanie nie jest wcale jednoznaczna, gdyż doświadczenie pokazuje, że często w obliczu realnej sytuacji misternie skonstruowane plany mogą zawieść.

Obecnie w strukturze Państwowej Agencji Atomistyki działa Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych (CEZAR), które jest podstawową komórką systemu bezpieczeństwa radiacyjnego kraju. W Centrum zainstalowane są bazy danych i systemy informatyczne wspomagania decyzji, które stanowią podstawowe narzędzia do oceny sytuacji radiacyjnej. Centrum systematycznie zbiera informacje o poziomie promieniowania ze stacji monitoringu rozmieszczonych na terenie całego kraju oraz dysponuje ruchomym laboratorium do pomiaru skażeń wyposażonym w szereg niezbędnych instrumentów pomiarowych oraz ma stały system wczesnego powiadamiania i łączności z odpowiednimi systemami utrzymywanymi w Unii Europejskiej. Przy Prezesie PAA działa Służba Awaryjna współdziałająca ze służbami wojewody właściwego dla miejsca zdarzenia. Całodobowo działa też Krajowy Punkt Kontaktowy (KPK) służący wczesnemu powiadamianiu o awarii jądrowej, jak tego wymaga Konwencja MAEA z 1986 roku. KPK zapewnia szybkie uzyskanie informacji o zagrożeniach radiacyjnych mających swe źródło poza granicami Polski, pozwalającej na niezwłoczne podjęcie działań przez Centrum. Funkcje KPK uzupełnia działający w sposób ciągły punkt ostrzegawczy (*warning point*), którego głównym zadaniem jest przyjmowanie powiadomień o awariach z zagranicy i wysyłanie powiadomień za granicę w razie zaistnienia awarii w kraju. Wreszcie, w Departamencie Bezpieczeństwa Jądrowego i Radiacyjnego PAA działa Wydział Nadzoru i Analiz Obiektów Jądrowych, grupujący specjalistów kompetentnych w zakresie technologii obiektów jądrowych zlokalizowanych w pobliżu granic Polski. Pracownicy Wydziału na bieżąco śledzą stan ich bezpieczeństwa na podstawie dostępnych informacji oraz obserwacji własnych poczynionych podczas wizyt technicznych w tych obiektach. Ich wiedza pozwala na uzyskanie szybkiej, wstępnej oceny sytuacji w pierwszej fazie awarii przy małej liczbie danych i w warunkach niepewności.

Organizację obecnego systemu bezpieczeństwa przedstawiono na poniższym schemacie. Można mieć zatem nadzieję, że Polska jest obecnie znacznie lepiej przygotowana na wypadek awarii typu czarnobylskiej niż było to w roku 1986.



Konsekwencje zdrowotne awarii reaktora w Czarnobylu potwierdzają, że niekorzystnych skutków małych dawek promieniowania nie daje się udowodnić. Przekonanie, że im mniejsza dawka tym mniejsze prawdopodobieństwo zachorowania pozostaje w sferze hipotez. Obecnie na podstawie licznych badań wydaje się, że są mocne podstawy aby przypuszczać, że małe dawki promieniowania – podobne do naturalnych i większe niż czarnobylskie dawki w Polsce – mogą przedłużyć życie, poprawić odporność oraz zmniejszyć zapadalność na nowotwory. Stwierdzono to m.in. wśród tej części ludności Hiroshimy i Nagasaki, która została napromieniona małymi dawkami w czasie ataku atomowego. Występowanie zjawiska dobroczynnych skutków małych dawek promieniowania potwierdził Komitet Naukowy Narodów Zjednoczonych ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR), największy międzynarodowy autorytet w dziedzinie badań radiacyjnych. Idea hormezy radiacyjnej znalazła odbicie w Raporcie UNSCEAR 2000 i znajduje coraz więcej potwierdzeń (zob. raport pt. [Hormeza – zjawisko powszechne i powszechnie nieznane](#)). Teza ta znajduje także potwierdzenie w stanie zdrowia ratowników zatrudnionych w gaszeniu pożaru i likwidacji skutków awarii w Czarnobylu.

I jeszcze jedna lekcja: odwiedzający dziś skażone tereny wokół Czarnobyla nie mogą się nadziwić bujnej roślinności, wspaniałemu drzewostanowi i obfitości zwierzyny w lasach, rzekom i jeziorom pełnym ryb. Opuszczone miasto Prypeć stało się sanktuarium dla ponad trzydziestu gatunków ptaków. Zamknięta strefa wokół Czarnobyla stała się wręcz oazą dzikiej przyrody, a niewątpliwie stosunkowo duża zawartość radionuklidów w organizmach przynajmniej niektórych zwierząt żyjących zdrowo w lasach potwierdza nieszkodliwość małych dawek promieniowania. Rośliny i zwierzęta najwyraźniej sobie dobrze radzą z takimi dawkami, czemu więc człowiek ma być gorszy?

Dlaczego uwaga opinii publicznej została zogniskowana na Czarnobylu? Czyżby więcej było wrogów energetyki jądrowej niż zbrojeń nuklearnych? Kim są ci, co podsycają radiofobię? Co powoduje, że radiofobia jest tak powszechna? Przyczyn jest zapewne więcej niż podajemy tutaj.

- Armia chce by obawiano się jej środków.
- Energetyka konwencjonalna widzi w energetyce jądrowej poważne zagrożenie.
- Występuje zażarta konkurencja między producentami energii elektrycznej.
- Nierzetelni dziennikarze żyją z taniej sensacji – tytuł „Przeciek w EJ!” doskonale się sprzedaje, zaś to, że ów przeciek nie zagraża nikomu jest skrzętnie przemilczane.
- Jest wielu ludzi, którzy czerpią korzyści z nabytego statusu osób „poszkodowanych przez promieniowanie” i nieustannie tych osób przybywa (podobnie jak kombatantów wojennych).
- Niestety, do grupy beneficjentów strachu przed promieniowaniem należy wcale niemała grupa uczonych, którzy dzięki żywionym obawom mogą zdobyć fundusze na badania, często zresztą mające niewiele wspólnego z nauką.
- Fizyka jądrowa jako nauka ma dopiero 100 lat. Aby dotarła do umysłów ludzi potrzeba zapewne 3-razy tyle czasu. Jeszcze niedawno protestowano przeciwko samochodom, a zaćmienie Słońca lub pojawienie się komety budziło bardzo poważne obawy.

Kiedy społeczność światowa „pójdzie po rozum do głowy”? Nie wiadomo!

13. SYSTEM REAGOWANIA MIĘDZYNARODOWEJ AGENCJI ENERGII ATOMOWEJ NA KRYZYSY

Jakkolwiek energetyka jądrowa wypracowała tak wysokie standardy jakości i bezpieczeństwa jak w technologii kosmicznej, to w obu tych dyscyplinach (jak i we wszystkich innych) poważnej awarii nie da się wykluczyć. Awaria w Czarnobylu uzmysłowiła społeczności międzynarodowej konieczność zapewnienia sprawnego systemu reagowania na zagrożenia, do czego potrzebny jest przede wszystkim efektywny system informacyjny, w którym wybrana informacja w określonej formie dociera do określonych adresatów w odpowiednim czasie. Koniecznym też jest opracowanie algorytmów działań i przeciwiczenie procedur.

Głównymi cechami systemu postępowania awaryjnego są więc:

- szybki obieg informacji zgodny z przyjętymi algorytmami postępowania
- zdolność do natychmiastowej reakcji
- koordynacja pomocy technicznej, logistycznej i ewentualnie medycznej
- odpowiednia liczba dostępnych ekspertów.

Dla realizacji tych celów państwa członkowskie Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu (MAEA) podpisały dwie konwencje:

- wczesnym powiadamianiu. Konwencja zobowiązuje sygnatariuszy do natychmiastowego powiadamiania służby awaryjnej Agencji o zaistniałych zagrożeniach. Zespół kryzysowy MAEA często w porozumieniu z organizacjami międzynarodowymi (WMO, WHO, FAO, UNEP, UNDRO) zarządza działania odpowiednie do sytuacji. Publikacja MAEA pt. *Powiadamanie w sytuacjach awaryjnych i pomoc techniczna* zawiera aktualizowaną informację o systemie reagowania.
- wzajemnej pomocy. Konwencja zapewnia adekwatną do problemu pomoc ze strony MAEA, niezależnie od tego czy przyczyna zagrożenia jest zlokalizowana na terytorium kraju proszącego o pomoc, czy też poza nim. Zainteresowane państwo może również prosić o pomoc inne organizacje, musi jednak dokładnie określić o jaką pomoc chodzi.

Przeprowadzane okresowo ćwiczenia dostarczają danych do doskonalenia tego systemu.

Równolegle MAEA prowadzi intensywne działania zmierzające do zapobiegania awariom. Służą temu misje MAEA badające starannie elektrownie jądrowe w oparciu o wcześniej przygotowane „Zielone Księgi”, w których określone są wszystkie słabe miejsca różnych typów reaktorów i zalecane przedsięwzięcia mające poprawić ich bezpieczeństwo. Pierwsze takie księgi opracowano dla reaktorów najstarszych WWER projektowanych w ZSRR, a potem rozszerzono tę akcję na inne typy elektrowni jądrowych.

Wszystkie kraje eksploatujące elektrownie jądrowe opracowują wieloletnie plany podnoszenia bezpieczeństwa elektrowni i realizują je, korzystając przy tym z pomocy międzynarodowej. W przeciwieństwie do reaktorów RBMK, których konstrukcja była tajemnicą, projekty obecnie pracujących reaktorów są powszechnie znane i analizowane przez dziesiątki ośrodków, zatrudniających wybitnych ekspertów, którzy marzą o znalezieniu usterek w analizowanych reaktorach. Jawność rozwiązań projektowych, nadzór międzynarodowy i silne urzędy dozoru jądrowego, a także ciągła i bliska współpraca elektrowni jądrowych z różnych krajów stworzyły sytuację, w której nie mogą się powtórzyć poważne wykroczenia przeciw zasadom bezpieczeństwa jądrowego, jakie zaistniały w Czarnobylu.

14. MIĘDZYNARODOWA SKALA ZDARZEŃ JĄDROWYCH INES

Do opisu różnych zjawisk stosuje się różne skale ich natężeń, np. skalę Beauforta do opisu siły wiatru, skalę Richtera do opisu trzęsień ziemi itd. W 1990 r. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej wprowadziła skalę zdarzeń jądrowych INES (*The International Nuclear Event Scale*).

POZIOMY W SKALI INES:

1.	anomalie	naruszenie zatwierdzonych warunków eksploatacji
2.	incydent	znaczne skażenie, nadmierne narażenie pracowników
3.	poważny incydent	narażenie ludności na napromienienie dawką dopuszczalną, poważne skażenie, ostre skutki u pracownika
4.	awaria bez znacznego zagrożenia poza obiektem	narażenie ludności na napromienienie dawką dopuszczalną, znaczne uszkodzenie rdzenia reaktora, narażenie pracownika na napromienienie dawką śmiertelną
5.	awaria z zagrożeniem poza obiektem	prawdopodobnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie planowych przeciwdziałań, poważne uszkodzenie reaktora
6.	poważna awaria	znaczne uwolnienie, prawdopodobnie będzie konieczne pełne wprowadzenie planowych przeciwdziałań
7.	wielka awaria	wielkie uwolnienie promieniotwórczych substancji, rozległe skutki zdrowotne i środowiskowe

Dokładną informację i przykłady podano w następnej tabeli.

Nazwa	Kryteria	Przykłady
7 Wielka awaria	Uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych nagromadzonych w dużym obiekcie (np. w rdzeniu reaktora energetycznego). Będzie to zazwyczaj mieszanina krótko- i długożyciowych produktów rozszczepienia (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia co najmniej dziesiątków tysięcy terabekereli jodu 131). W wyniku takiego uwolnienia należy oczekiwać ostrych skutków zdrowotnych, skutków późnych na dużym obszarze (być może wykraczających poza granice kraju), długotrwałych skutków środowiskowych.	EJ w Czarnobylu, b. ZSRR, 1986
6 Poważna awaria	Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od tysięcy do dziesiątek tysięcy terabekereli jodu 131). Prawdopodobnie będzie konieczne pełne wprowadzenie przeciwdziałań przewidzianych w lokalnych planach postępowania awaryjnego, w celu ograniczenia poważnych skutków zdrowotnych.	Zakłady przerobu paliwa w Kysztymie, b. ZSRR, 1957
5 Awaria z zagrożeniem poza obiektem	Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych (w ilościach równoważnych skutkom uwolnienia od setek do tysięcy terabekereli jodu 131). Przypuszczalnie będzie konieczne częściowe wprowadzenie przeciwdziałań przewidzianych w planach postępowania awaryjnego, w celu zmniejszenia prawdopodobieństwa wystąpienia skutków zdrowotnych.	Reaktor w Windscale, Wielka Brytania, 1957
	Poważne uszkodzenie obiektu jądrowego. Może to być: częściowe uszkodzenie rdzenia reaktora, awaria spowodowana nieprzewidzianym osiągnięciem przez reaktor stanu nadkrytycznego, poważny pożar lub eksplozja, w wyniku których nastąpi uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych wewnątrz obiektu.	EJ Three Mile Island, USA, 1979
4 Awaria bez znaczącego zagrożenia 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.	Zakład przerobu paliwa w Windscale, Wielka Brytania, 1973
	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.	EJ Saint Laurent, Francja, 1980
	Prawdopodobieństwo napromieniowania jednego lub kilku pracowników dawką śmiertelną.	Zestaw krytyczny w Buenos Aires, Argentyna, 1983
3 Poważny incydent	Uwolnienie do otoczenia substancji promieniotwórczych przekraczające 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 Vandelloos, Hiszpania, 1989
2 Incydent	Zdarzenie, w wyniku którego zostały znaczenie 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 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, ale z zachowaniem znaczącego stopnia sprawności systemów zabezpieczeń. Może to być spowodowane niesprawnością urządzenia, błędem ludzkim lub niedoskonałością procedur i może powstać w dowolnym obszarze objętym Skalą, tzn. podczas eksploatacji obiektu, transportu materiałów promieniotwórczych, przeładowania paliwa lub postępowania z odpadami. Przykłady obejmują: naruszenia specyfikacji technicznych lub przepisów transportowych nie powodujące bezpośrednich skutków dla bezpieczeństwa; incydenty ujawniające niedociągnięcia w systemie organizacyjnym lub kulturze bezpieczeństwa; drobne uszkodzenia rurociągów wykraczające poza zjawiska przewidywane w ramach programu nadzoru.	
0 Poniżej skali	BEZ ZNACZENIA DLA BEZPIECZEŃSTWA Odstępstwa, które nie wykraczają poza ograniczenia i dopuszczalne parametry eksploatacyjne i są prawidłowo zarządzane zgodnie z odpowiednimi procedurami. Przykłady obejmują: pojedynczą losową usterkę w systemach redundacyjnych, wykrytą podczas okresowej kontroli lub testu; planowane, normalnie przebiegające wyłączenie reaktora; zbędne i nie powodujące znaczących konsekwencji uruchomienie układów bezpieczeństwa; wycieki w granicach limitów eksploatacyjnych, niewielkie rozprzestrzenianie skażeń w granicach obszarów kontrolowanych nie mające większego znaczenia dla kultury bezpieczeństwa.	

Warto zwrócić uwagę, że poza awarią czarnobylską jedyną awarią, która spowodowała uszkodzenie rdzenia reaktora była awaria w Three Mile Island, zaklasyfikowana do kategorii 5, która nie spowodowała żadnych strat zdrowia ani życia mieszkańców ani personelu. Co więcej, łączny bilans strat zdrowotnych z powodu WSZYSTKICH AWARII w elektrowniach jądrowych z reaktorami lekkowodnymi (jakie zapewne będą budowane w Polsce) wynosi ZERO.

Poza wypadkiem w Czarnobylu, NIKT nie stracił życia wskutek awarii reaktora w elektrowni jądrowej.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy niniejszego opracowania pragną wyrazić wdzięczność prof. dr hab. Zbigniewowi Jaworowskiemu za krytyczne komentarze oraz dr Stanisławowi Latkowi za cenne dyskusje. Panu dr Andrzejowi Kowalczykowi z PAA bardzo dziękujemy za dane o Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych.

BIBLIOGRAFIA

1. "Chernobyl. 10 Years On Radiological And Health Impact" An Assessment by the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health November 1995 OECD Nuclear Energy Agency
2. "Sources and Effects of Ionizing Radiation." UNSCEAR 2000 Report to the General assembly, with Scientific Annexes
3. Celiński Z., Strupczewski A.: "Podstawy energetyki jądrowej" WNT, Warszawa 1984
4. Celiński Z.: "Energetyka Jądrowa" PWN, Warszawa 1991
5. "Stan skażeń promieniotwórczych i zagrożeń radiologicznych w Polsce w latach 1986-1995 będących następstwem awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu" PTJ 2/96
6. IAEA "Ten years after Chernobyl: what do we really know?" (from April 1996 conference)
7. IAEA 2005, [Chernobyl Forum report](#) "Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts."
8. International Nuclear Safety Program (INSP) <http://insp.pln.gov:2080>
9. Jaworowski Z. 2004, Lessons of Chernobyl, with particular reference to thyroid cancer. ARPS newsletter April 2004 and in press, International Policy Network.
10. Jaworowski Z. "Skutki Czarnobyla" PTJ 3/97
11. Jaworowski Z., "Demony Czarnobyla", Świat Nauki, kwiecień 2006, str. 46
12. Jezierski G. "Energia jądrowa wczoraj i dziś", WNT Warszawa 2005
13. Kossakowski St.: "Promieniotwórcze skażenie środowiska", PIWet., Puławy 1995
14. Miedwiediew G. "Raport z Czarnobyla", SW Czytelnik, Warszawa 1991
15. Mould R.F.: "Chernobyl Record. The definitive History of the Chernobyl Catastrophe", IOP Publishing 2000
16. Nuclear Energy Agency <http://www.nea.fr>
17. Nuclear Energy Institute 1996, Info Bank briefing sheets and Source Book, 4th edn.
18. OECD NEA 1995, [Chernobyl. Ten Years On, radiological and health impact](#)
19. PAA Informacje bieżące: 19 lat po awarii w Czarnobylu www.paa.gov.pl
20. Raport "Awaria w Czarnobylskiej elektrowni jądrowej i jej skutki"
21. "Raport Komisji rządowej ds. oceny promieniowania jądrowego i działań profilaktycznych" PP Wydawnicze "Rzeczpospolita", 1986
22. Raport UNDP, UNICEF, UN-OCHA i WHO z 2002 r. "The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: A Strategy and Recovery"
23. Read P.P.: "Czarnobyl - zapis faktów", Świat Książki, Warszawa 1996
24. Rotkiewicz M.: "Czarnobyl – największy błąd XX wieku", WPROST z 14.01.2001
25. Skłodowska A., Gostkowska B.: "Promieniowanie jonizujące a człowiek i środowisko", WN Scholar, Warszawa 1996
26. Hirschberg S. with contributions by P. Burgherr: Accidents in the Energy Sector: Comparison of Damage Indicators and External Costs, Paul Scherrer Institut Switzerland Workshop on Approaches to Comparative Risk Assessment Warsaw, Poland, 20-22 October 2004

27. Strupczewski A.: "Przyczyny i przebieg awarii w elektrowni Jądrowej w Czarnobylu z reaktorem RBMK", Przegląd Elektrotechniczny 1987
28. Strupczewski A.: "Awaryje reaktorowe a bezpieczeństwo energetyki jądrowej", WNT Warszawa 1990
29. Strupczewski A.: „Oddziaływanie małych dawek promieniowania na zdrowie człowieka”, Biuletyn PSE, Październik 2005
30. The Chernobyl Forum: "Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine", IAEA 2005
31. UNSCEAR 2000 report, Annex J.: "Exposures and Effects of the Chernobyl accident"
32. WHO "Chernobyl: the true scale of the accident", 2005
33. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/en/index.html>
34. WNA World Nuclear Association <http://www.world-nuclear.org/info/chernobyl/inf07print.htm>
35. www.nuclear.pl