

Dr inż. Andrzej Strupczewski¹⁾
Instytut Energii Atomowej, Świerk

Bezpieczeństwo energetyki jądrowej

Polscy zwolennicy budowy elektrowni jądrowej pobudzeni zapisami przyjętego przez rząd programu rozwoju energetyki przedstawiają również i w naszym czasopiśmie trzy artykuły podchodzące do sprawy budowy takiej elektrowni w Polsce bardzo optymistycznie. Przedstawione poglądy mają niewątpliwie charakter obiektywny, choć nie poruszają kilku argumentów zgłaszanych przez ludzi o przeciwnych zapatrywaniach. Liczne zgłoszenia gmin chętnych do budowy na ich terenie elektrowni jądrowej napawają nadzieją, że wyniki sondażu przedstawionego w ostatnim artykule potwierdzą się po podjęciu przez nowe władze decyzji o budowie takiej elektrowni lub kilku elektrowni. Jeśli do tego podtrzymane zostaną propozycje inwestorów europejskich o finansowym zaangażowaniu się w takim przedsięwzięciu, to istotne ograniczenie emisji dwutlenku węgla w wyniku spalania węgla kamiennego i brunatnego stanie się w Polsce faktem.

Redakcja

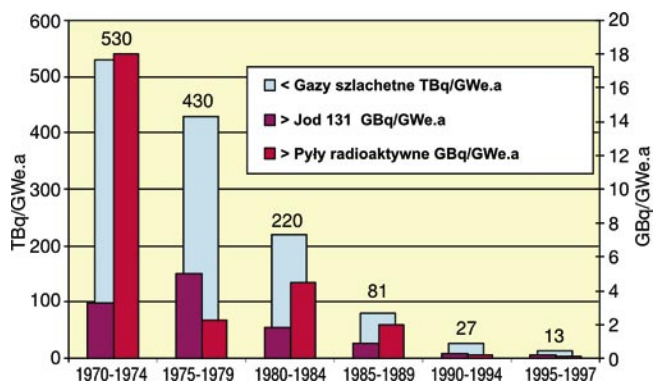
Redukcja dawek wokół instalacji jądrowych

Po 50 latach od chwili powstania Instytutu Badań Jądrowych Polska staje ponownie wobec perspektywy budowy energetyki jądrowej, tym razem z reaktorami najnowszej generacji wyposażonymi w skuteczne systemy zapewnienia bezpieczeństwa. Ale w ciągu ubiegłego pół wieku postawiono wiele pytań i zarzutów pod adresem energetyki jądrowej i trzeba na nie odpowiedzieć społeczeństwu, zanim się uzyska jego zgodę na budowę elektrowni jądrowych.

Podstawowe pytanie jest takie: czy małe dawki promieniowania, typowe dla pracy elektrowni jądrowej i związanych z nią instalacji, są groźne dla człowieka?

Do połowy XX wieku zakładano, że poniżej pewnego progu promieniowanie nie powoduje szkodliwych skutków, ale w okresie intensywnych prób broni jądrowej w atmosferze Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) uznała, że bezpieczniej jest założyć, że każda dawka, nawet najmniejsza, może powodować uszkodzenie komórek i prowadzić do powstania raka. Podejście to pomogło w zwalczaniu prób z bronią jądrową, a w praktyce przemysłu jądrowego zaowocowało konsekwentnym wprowadzaniem redukcji dawek do wartości tak małych, jak tylko jest to rozsądnie uzasadnione. Przykładem skuteczności tego procesu w energetyce jądrowej może być redukcja emisji produktów radioaktywnych z elektrowni jądrowych z ciśnieniowymi reaktorami wodnymi (PWR), pokazana na rysunku 1 wg danych [1].

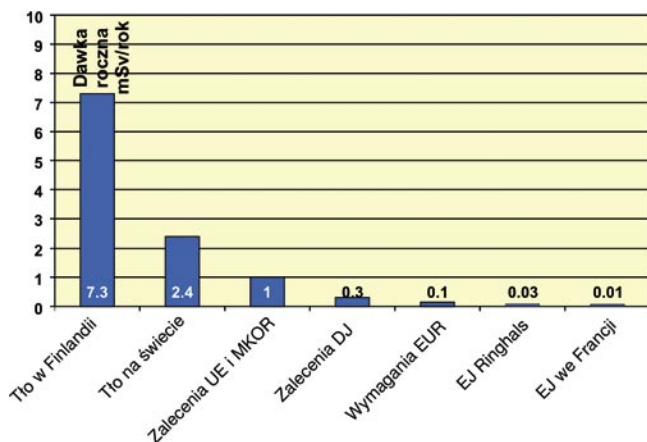
¹⁾ A.Strupczewski@cyf.gov.pl



Rys. 1. Redukcja emisji z reaktorów PWR wg UNSCEAR 2000

Obecne emisje z elektrowni jądrowych są bliskie zeru i powodowane przez nie dawki są wielokrotnie mniejsze od naturalnych wahań tła promieniowania powodowanych różnicami wysokości nad poziomem morza lub lokalnym promieniowaniem radonu wydzielającego się ze skorupy ziemskiej.

I tak np. typowe moce dawki dla grupy krytycznej – to jest dla grupy osób najbardziej narażonych mieszkających w sąsiedztwie elektrowni jądrowej – wynoszą we Francji około 0,01 mSv/rok, podczas gdy wahania tła naturalnego sięgają od 2 do 10 mSv/rok. W innych krajach sytuacja przedstawia się podobnie.



Rys. 2. Porównanie dawek promieniowania od EJ z tłem naturalnym i dawkami dozwolonymi

Na rysunku 2 widać porównanie dodatkowych dawek (poza naturalnym tłem promieniowania) powodowanych przez obecnie pracujące elektrownie jądrowe z dawkami zalecanymi jako dawki graniczne przez Unię Europejską i ICRP, dozwołonymi przez kompetentne władze w różnych krajach (w Polsce jest to Urząd Dozoru Jądrowego) i przyjętymi jako wymagania firm energetycznych w krajach UE [2].

Jak widać, firmy energetyczne stawiają przyszłym elektrowniom wymagania ostrzejsze niż UE i ICRP. Dla nowo budowanej wielkiej elektrowni z reaktorem EPR o mocy 1600 MW roczna dawka dla osoby najbardziej narażonej będzie mniejsza niż 0,014 mSv [3]. W stosunku do tła i wahań tła naturalnego dodatkowe dawki powodowane przez EJ są pomijalnie małe.

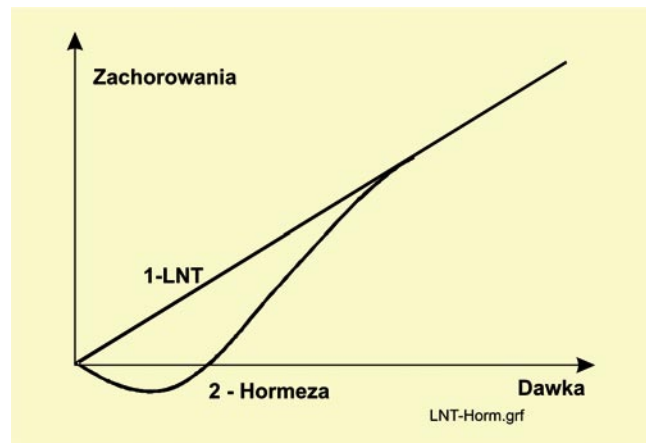
Czy małe dawki są szkodliwe dla zdrowia ludzi?

Przekonanie o szkodliwości małych dawek promieniowania stanowi wielką przeszkodę psychologiczną w procesie akceptacji energetyki jądrowej przez społeczeństwo. Oparte jest ono na fakcie, że szkodliwe są wysokie dawki promieniowania. Kierując się zasadą ostrożności ICRP postawiło hipotezę, że ujemne skutki zdrowotne promieniowania są proporcjonalne do wielkości dawki i że nie występuje nigdzie próg, poniżej którego nasz organizm potrafiłby obronić się przed szkodliwymi skutkami promieniowania. Hipoteza ta zwana jest hipotezą liniową bezprogową (Linear No Threshold – LNT).

Według tej hipotezy, skutki zdrowotne określa się przez ekstrapolację skutków zdrowotnych dla osób, które otrzymały wysokie dawki po bombardowaniu Hiroszim i Nagasaki (tzw. kohorta ABS – Atomic Bomb Survival) do obszaru małych dawek aż do zera łącznie. Podejście to jednak nie uwzględnia działania naturalnych mechanizmów obronnych w naszym organizmie, które działają na różnych poziomach – komórki, tkanki i całego organizmu. Skuteczność tych mechanizmów jest różna w zależności od stopnia napromieniowania. Przy bardzo małych dawkach są one bardzo skuteczne, a przy tym pobudzają organizm do przeciwdziałania również innym

zagrożeniom, nie związanym z promieniowaniem, a wynikającym np. z procesów metabolicznej przemiany tlenowej. Może to prowadzić do zjawiska hormezy – to jest dobroczynnego działania małych dawek, wzmacniających siły obronne organizmu.

Przy wysokich dawkach szkodliwe działanie promieniowania dominuje, dlatego w zakresie dawek powyżej 0,1–0,2 Sv hipoteza o liniowej zależności zachorowań od dawki jest słuszna. Natomiast w wielu badaniach [4] otrzymano wyniki wskazujące, że skutki małych dawek są niewykrywalnie małe, lub że przy małych dawkach występuje obniżenie zachorowalności na raka, a więc zjawisko hormezy (rys. 3).



Rys. 3. Możliwe efekty małych dawek

Dlatego też, chociaż w ochronie radiologicznej ze względów ostrożności nadal utrzymuje się podejście oparte na hipotezie LNT, w analizach porównawczych trzeba uwzględnić, że zagrożenia od małych dawek nie są potwierdzone żadnymi badaniami w dużych populacjach ludzkich. Nawet gdyby małe dawki były szkodliwe, to ich skutki byłyby niedostrzegalnie małe. Jak podaje ICRP [5], trzeba by było badań prowadzonych przez dziesiątki lat na milionach osób, by uzyskać dane znaczące statystycznie, które pozwolą na odrzucenie lub poparcie hipotezy LNT. Występowanie hormezy dawałoby wyraźniejsze efekty i badania na dużych populacjach ludzkich dają wyniki służące dla poparcia istnienia tego zjawiska [4].

Dyskusja na temat słuszności hipotezy LNT trwa i stymuluje wciąż nowe badania. Należą do nich badania epidemiologiczne na dużych populacjach ludzkich i badania laboratoryjne zmierzające do poznania procesów biologicznych wywołanych promieniowaniem.

Badania mieszkańców rejonów o podwyższonym tle promieniowania

Badania dużych populacji obejmują przede wszystkim mieszkańców tych rejonów Ziemi, gdzie występuje podwyższone tło promieniowania. Żyją oni w warunkach najbardziej zbliżonych do tych, które może spowodować długotrwała praca elektrowni jądrowej, bo narażeni są na podwyższone moce dawki działające w sposób ciągły przez wiele lat.

Różnica polega tylko na tym, że dawki od elektrowni jądrowych są wielokrotnie mniejsze od różnic w tle naturalnym promieniowania. Badania tych populacji trwają od ponad pół wieku i objęły dziesiątki różnych rejonów o podwyższonym promieniowaniu, począwszy od mieszkańców uzdrowisk ze źródłami radonowymi jak Misasa w Japonii [6], poprzez rejony takie jak prowincja Yangjiang w Chinach (moce dawki 6,4 mSv/rok) [7, 8], Kerala w Indiach (do 35 mSv/rok) [9], aż do miejscowości Ramsar w Iranie, gdzie średnia mocy dawki wynosi 10,2 mSv/rok, a maksymalne moce dawki sięgają 260 mSv/rok. W żadnym z tych rejonów nie wykryto zwiększonej umieralności na raka, a przeciwnie, wyniki z wielu tych obszarów sugerują, że częstość zgonów na nowotwory jest tam mniejsza.

Najnowszy raport Francuskiej Akademii Nauk i Francuskiej Akademii Medycznej [24] stwierdza, że „zachorowalność na raka w większości populacji narażonych na niskie dawki promieniowania nie jest znacząco podwyższona, a w większości przypadków dane wskazują na jej obniżenie.”

Osiągnięcia w badaniach procesów biologicznych po napromieniowaniu ludzi

Ostatnie dziesięciolecie przyniosło ogromny postęp w zrozumieniu procesów biologicznych, które zapewniają obronę komórek i organizmu człowieka przed zagrożeniem radiacyjnym. Pozwoliło to opisać zróżnicowane procesy obronne, które mają różny charakter w zależności od wielkości dawki. Poprzednio obrońcy hipotezy LNT twierdzili, że zarówno małe jak i duże dawki powodują podobne uszkodzenia DNA, a procesy naprawcze mogą czasami prowadzić do błędów i zapoczątkowywać procesy rakotwórcze. Obecnie Francuska Akademia Nauk podkreśla, że chociaż uszkodzenia DNA w komórce przebiegają jednakowo niezależnie od mocy dawki, to procesy obronne istniejące na poziomie komórki, tkanki i całego organizmu są odmienne w zależności od mocy i wielkości dawki [24].

W szczególności przy bardzo małych dawkach (poniżej kilku mSv) procesy obronne powodują zwiększenie odporności organizmu na inne zagrożenia, występujące w normalnych procesach metabolicznych, np. wzmagają usuwanie toksyn, takich jak niestabilne rodniki utleniające, chroniąc w ten sposób DNA przed uszkodzeniem [32]. Liczba niestabilnych rodników grożących uszkodzeniem DNA jest ogromna, powodują one około miliona uszkodzeń nici DNA w komórce dziennie, lecz dzięki biologicznym procesom obronnym liczba mutacji powodowanych procesami metabolicznymi jest ostatecznie zredukowana do około 1/komórkę/dzień. Natomiast przy małych mocach dawki promieniowania, np. 1 mSv/rok, liczba uszkodzeń DNA powodowanych przez promieniowanie wynosi tylko około 0,005 w komórce na dzień [33]. Podobnie jak uszkodzenia powodowane metabolizmem, uszkodzenia radiacyjne są usuwane lub naprawiane, tak że liczba mutacji zredukowana jest do około 0,000 000 1 na komórkę na dzień, a więc 10 milionów razy mniej niż z powodu procesów metabolicznych. Tak więc małe dawki promieniowania nie dają znaczącego wkładu w procesy kancerogenezy.

Zmiany w podejściu do szkodliwości małych dawek

W chwili obecnej można stwierdzić, że:

- w populacjach poddanych długotrwałemu działaniu podwyższonych dawek promieniowania nie zaobserwowano żadnych ujemnych skutków zdrowotnych działania małych dawek,
- najnowsze badania procesów biologicznych sugerują, że możliwe jest wytłumaczenie różnic w efektach działania małych i dużych mocy dawek.

Analizy tych prac doprowadziły do zakwestionowania przekonania, że każda, nawet najmniejsza dawka może być szkodliwa i do zmiany podejścia do dawki kolektywnej. Poważni naukowcy broniący hipotezy LNT uważają, że można ją stosować tylko po wprowadzeniu wartości progowej, poniżej której małe dawki nie będą całkowane na duże populacje i długie okresy. Podobne podejście proponuje przewodniczący ICRP, Roger Clarke [34]. Zgodnie z jego stanowiskiem, należy ograniczać maksymalną dawkę indywidualną dla najbardziej narażonego członka grupy krytycznej i przyjąć, że jeśli zagrożenie dla poszczególnych osób jest pomijalnie małe, to i dla dowolnie dużej grupy pozostaje ono pomijalnie małym [34].

W chwili obecnej hipoteza LNT pozostaje podstawą przepisów bezpieczeństwa i ocen porównawczych. Stopniowo wprowadzane są zmiany, np. dotyczące dawki kolektywnej, którą dawniej obliczano całkowając wszystkie, nawet najmniejsze zagrożenia przez tysiące lat i miliardy ludzi, a obecnie ICRP zaleca powstrzymanie się od całkowania w czasie, uznając za wystarczające, by przyszłe pokolenia były chronione równie efektywnie jak pokolenie żyjące teraz. Uczni zwracają uwagę na uproszczenia i pesymizację związaną z hipotezą LNT, ale dyskusja daleka jest jeszcze od zakończenia.

Tym niemniej, biorąc pod uwagę, że wysiłki energetyki jądrowej zmierzające do redukcji dawek doprowadziły już do sytuacji, gdzie dawki indywidualne powodowane przez energetykę jądrową są pomijalnie małe, można śmiało stwierdzić, że przy normalnej pracy energetyka jądrowa nie powoduje zagrożenia dla człowieka.

Redukcja zagrożenia w razie awarii elektrowni jądrowej

Pozostaje sprawa możliwych awarii elektrowni jądrowych. Awaria w Czarnobylu nie jest reprezentatywna nawet dla elektrowni dotychczas istniejących, bo reaktor RBMK pracujący w Czarnobylu był zasadniczo inny niż wszystkie typy reaktorów z moderatorem wodnym, zarówno budowane w krajach zachodnich jak i w Europie Środkowej i Wschodniej. Podczas gdy w reaktorach moderowanych wodą częściowe odparowanie wody powoduje wygaszenie reakcji rozszczepienia i wyłączenie reaktora, w Czarnobylu w zakresie małych mocy reaktora przy częściowym odparowaniu wody pochłanianie neutronów w wodzie malało, a spowalnianie było nadal zapewnione przez moderator grafitowy.

Wskutek tego moc reaktora RBMK w razie awarii rosta zamiast maleć. Dodatkowo, wady konstrukcyjne spowodowały przejściowy wzrost mocy w momencie zrzutu prętów bezpieczeństwa, tak że w chwili awarii zamiast wyłączenia reaktora operatorzy spowodowali gwałtowny wzrost jego mocy do wartości 1000-krotnie większej od normalnej pełnej mocy projektowej. Reaktor w Czarnobylu nie miał obudowy bezpieczeństwa, a wskutek utrzymywania jego rozwiązań w tajemnicy brak było wiedzy o możliwym przebiegu i skutkach awarii. Poza wadami konstrukcyjnymi brakowało kultury bezpieczeństwa, a więc świadomości, że bezpieczeństwo reaktora jest ważniejsze od produkcji energii elektrycznej.

Natomiast reaktory, które powstaną w Polsce, będą oparte na doświadczeniu 10 tysięcy reaktorolat pracy i analiz bezpieczeństwa czterystu reaktorów energetycznych pracujących w ponad 30 krajach Europy, Ameryki i Azji. W ciągu całej dotychczasowej pracy reaktorów z moderatorem wodnym nie było żadnego wypadku jądrowego, który spowodowałby śmierć lub choćby utratę zdrowia kogokolwiek z załogi lub okolicznych mieszkańców.

Trzeba dodać, że chociaż awaria w Czarnobylu była najcięższą możliwą awarią elektrowni jądrowej, jej rzeczywiste skutki radiologiczne są dużo mniejsze od wielu pesymistycznych ocen. Wbrew pierwotnym alarmującym ocenom, wczesne ofiary ograniczyły się w ciągu pierwszych 4 miesięcy do 28 zgonów na raka wskutek napromieniowania załogi i strażaków walczących z pożarem reaktora i trzech zgonów z innych przyczyn. W ciągu następnych 10 lat umarło 14 osób spośród napromieniowanego personelu, ale powody ich zgonów nie wiążą się bezpośrednio z promieniowaniem [35]. Oczekiwany wzrost zgonów opóźnionych na raka i białaczkę – nie wystąpił.

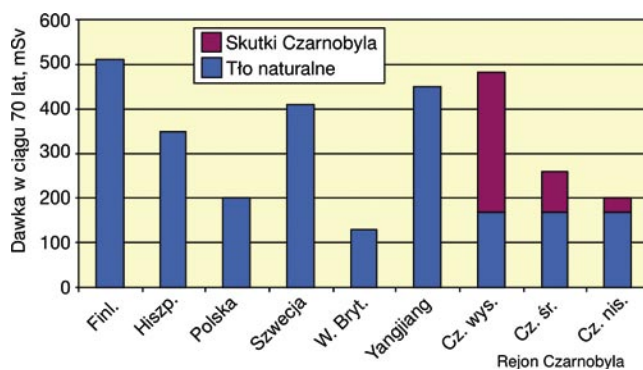
Jak stwierdził raport opracowany przez UNSCEAR w 2000 roku [1] oraz wspólny raport organizacji ONZ z Międzynarodową Organizacją Zdrowia [35], po awarii czarnobylskiej zarejestrowano około 2000 przypadków niemego raka tarczycy nie dającego objawów klinicznych, a wykrywalnego podczas sekcji lub badań USG. Prof. Jaworowski podkreśla, że częstotliwość takich przypadków w innych krajach bywa znacznie wyższa, np. w Finlandii wynosi 2,4%, podczas gdy największe natężenie wykrywalności tzw. raków czarnobylskich u dzieci poniżej 15 lat zarejestrowane w 1994 w Briansku wyniosło 0,027% [35]. Wielu specjalistów (a także raport UNSCEAR [1]) podaje, że może to być typowy efekt wzmożonych badań przeglądowych, prowadzonych intensywnie po awarii [2, 37]. Dyskusja trwa.

Ostatnie studium [38] poświęcone wyłącznie występowaniu raka tarczycy u dzieci w rejonie wokół Czarnobyla stwierdza, że są one wynikiem napromieniowania. Jednocześnie jednak w artykule wstępnym dr Boice przypomina, że nie było statystycznie znaczącego wzrostu ryzyka zachorowania na raka tarczycy wśród dzieci napromieniowanych po próbach bomby atomowej w Newadzie, wśród 6000 dzieci, którym podawano jod w celach diagnostycznych i wśród 3440 małych dzieci narażonych na opady jodu wokół obszaru prób jądrowych w Hanford [39]. W każdym razie, dotychczas na raka tarczycy na obszarach trzech państw wokół Czarnobyla umarło

łącznie tylko 9 osób [40], chociaż pierwotne przewidywania były znacznie wyższe, a od awarii minęło już 20 lat. Poza tym nie było znaczących skutków zdrowotnych wśród społeczeństwa. Nie ma oznak wzrostu zachorowalności na raka, która mogłaby być związana z narażeniem na promieniowanie. Nie wzrosło ryzyko białaczki, oczekiwanej ze względu na jej krótki okres utajenia, i to nawet wśród likwidatorów skutków awarii [35].

Raport [35] zatytułowany „Strategia wyzdrowienia” podkreśla konieczność powrotu do normalnego życia na terenach czarnobylskich, zwraca uwagę, że ewakuacja spowodowała fatalne skutki gospodarcze i zdrowotne i wzywa do powrotu mieszkańców na tereny pierwotnie objęte ewakuacją. Bez zasadność utrzymywania rejonów ewakuowanych w stanie „zamkniętym” ilustruje porównanie średnich dawek promieniowania otrzymywanych w ciągu życia przez mieszkańców różnych krajów i przez ludzi mieszkających w rejonach wokół Czarnobyla o niskim, średnim i wysokim skażeniu.

Jak widać na rysunku 4, dawki w Finlandii są wyższe niż w rejonie wokół Czarnobyla o skażeniu 50 Ci/km² – a przecież mieszkańcy Finlandii cieszą się dobrym zdrowiem (jedna z najwyższych średnich długości życia na świecie) i rząd nie zamierza ewakuować ich kraju. Podobnie dawki w rejonie Yangjiang w Chinach są wyższe niż w rejonie o skażeniu powyżej 40 Ci/km², który w Czarnobylu ogłoszono „rejonem zamkniętym” podlegającym ścisłej ewakuacji. A przecież wiemy z badań opisanych w sekcji 2.1, że sto tysięcy chłopów chińskich w Yangjiang cieszy się zdrowiem i ma niższą zachorowalność na raka niż ich sąsiedzi w rejonie o niskim promieniowaniu!

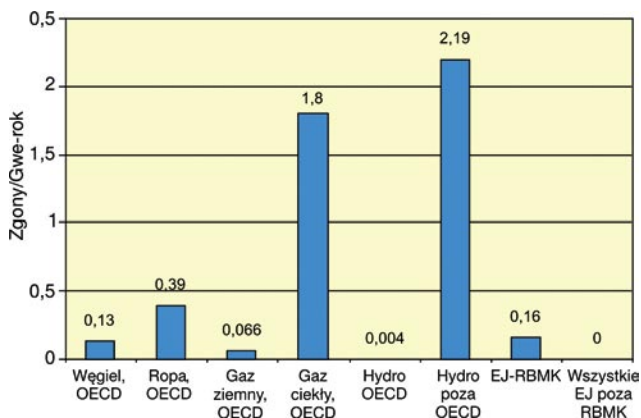


Rys. 4. Średnie dawki promieniowania w różnych rejonach Czarnobyla
wys. – 50 Ci/km², średnie – 15 Ci/km², niskie – 5 Ci/km²

Chociaż konstrukcja elektrowni jądrowych budowanych w krajach OECD jest zupełnie inna niż reaktora RBMK, to jednak lekcje wynikające z awarii w Czarnobylu zostały starannie przeanalizowane przez energetyków jądrowych wszystkich krajów. Awaria ta podkreśliła znaczenie wymiany informacji i współpracy międzynarodowej w analizach bezpieczeństwa i doskonaleniu elektrowni jądrowych. Przyczyniło się to do nawiązania ścisłej współpracy zarówno między poszczególnymi elektrowniami jądrowymi, jak i w ramach organizacji międzynarodowych, takich jak IAEA lub Unia Europejska.

Ważnym elementem jest filozofia bezpieczeństwa przyjęta w krajach OECD i dzięki współpracy międzynarodowej rozpowszechniana na całym świecie. Dzięki temu, że rozwiązania projektowe są dostępne wszystkim zainteresowanym, kilkanaście tysięcy naukowców w wielu ośrodkach na całym świecie prowadzi nieustannie analizy bezpieczeństwa istniejących i proponowanych elektrowni jądrowych, starając się znaleźć ich wady i proponując ulepszenia. Zapewnia to stały postęp i doskonalenie wszystkich elektrowni jądrowych, a jednocześnie daje bodziec do dalszych prac.

Bezpieczeństwo współczesnych elektrowni jądrowych opiera się na bardzo solidnych podstawach. Osiągnięty stopień bezpieczeństwa elektrowni jądrowych ilustruje rysunek 5, oparty na danych z pracy [41], pokazujący liczbę wczesnych zgonów przypadającą na jednostkę wyprodukowanej energii elektrycznej dla różnych źródeł energii. Dla reaktorów RBMK jako wartość odniesienia przyjęto energię wyprodukowaną przez wszystkie te reaktory do końca 1999 r., gdy opracowano to porównanie (200 GWlat). Jak widać, dla reaktorów z moderatorem wodnym – a takie będą budowane w Polsce – wskaźnik zgonów wynosi zero.



Rys. 5. Wczesne zgony powodowane przez ciężkie awarie w energetyce

Zgodnie z wytycznymi przemysłu jądrowego w UE [2], bezpieczeństwo nowoczesnych elektrowni jądrowych osiąga się przez uproszczenie ich układów i maksymalne wykorzystanie zjawisk naturalnych, takich jak siła ciężkości czy konwencja naturalna, a także przez takie projektowanie układów, by uszkodzenie ich powodowało przejście w stan bezpieczny. Już te elektrownie, które pracują obecnie, są w stanie uporać się z obszerną gamą awarii, nawet takich, które nie powinny się nigdy wydarzyć, jak np. pełne natychmiastowe rozerwanie największego rurociągu w obiegu pierwotnym.

Systemy bezpieczeństwa reaktora są zaprojektowane tak, by mogły opanować taką awarię, niezależnie od tego, że obieg pierwotny jest zaprojektowany z najlepszych dostępnych materiałów i z dużymi zapasami bezpieczeństwa, wykonany z najwyższą starannością i regularnie kontrolowany metodami nieniszczącymi przez cały okres eksploatacji elektrowni. Elektrownie jądrowe są wyposażone w rozbudowane systemy obrony w głąb, zabezpieczającej przed awarią

nawet w przypadku uszkodzeń urządzeń i błędów ludzkich, w systemy wielokrotnych barier powstrzymujących wydzielenie produktów rozszczepienia do otoczenia elektrowni nawet w przypadku awarii i w obudowy bezpieczeństwa powstrzymujące uwolnienia produktów radioaktywnych, a jednocześnie chroniące elektrownię przed atakami z zewnątrz.

W celu zapewnienia niezawodnego działania układów bezpieczeństwa, ich elementy są projektowane i sprawdzane na odporność na wstrząsy sejsmiczne, skrajne warunki temperatur i ciśnień po awarii, nie podtrzymują palenia i są rozmieszczone tak, by ani pożar, ani zalanie wodą nie mogły spowodować utraty więcej niż jednego z trzech lub czterech równoległych i niezależnych ciągów układu bezpieczeństwa.

W nowych elektrowniach szczególny nacisk kładzie się na niezawodne opanowanie hipotetycznych ciężkich awarii. Mimo że układy bezpieczeństwa i ich elementy są projektowane tak, by do ciężkich awarii nigdy nie doszło, konstruktorzy zakładają jednak, że wskutek różnych powodów o bardzo małym prawdopodobieństwie zaistnienia rdzeń reaktora zostanie pozbawiony odbioru ciepła i po kilku godzinach ulegnie stopieniu. Dlatego poza układami bezpieczeństwa normalnie istniejącymi w budowanych dotychczas elektrowniach, nowe EJ są wyposażane w system szybkiego obniżania ciśnienia w obiegu pierwotnym (by ułatwić dostarczenie do niego wody i uchronić EJ przed rozerwaniem zbiornika reaktora pod ciśnieniem), w system rekombinacji wodoru (by wykluczyć niebezpieczeństwo wybuchu wodoru wydzielonego do obudowy bezpieczeństwa), we wzmocnioną i chłodzoną płytę fundamentową, co zabezpiecza przed jej przetopieniem w razie wypłynięcia stopionego rdzenia ze zbiornika, i wreszcie w system długotrwałego chłodzenia obudowy bezpieczeństwa i usuwania z niej nadmiaru gazów, by zapewnić, że obudowa pozostanie nienaruszona nawet po awariach, które doprowadziłyby do stopienia rdzenia reaktora.

Elektrownia jądrowa zbudowana zgodnie z wymaganiami wprowadzonymi przez towarzystwa energetyczne UE [2] nie spowoduje nawet po awarii hipotetycznej potrzeby ewakuacji ludności, ani długotrwałych ograniczeń w spożywaniu produktów rolnych. Dwie takie elektrownie są już obecnie budowane – w Finlandii i we Francji – i elektrownia w Polsce będzie równie bezpieczna jak one.

Czy prawdziwe są zarzuty przeciwników energetyki jądrowej?

Żadna dziedzina techniki ani zresztą żadna aktywność człowieka nie da się zrealizować bez pewnego ryzyka. Inżynierowie jądrowi zdają sobie z tego sprawę i analizują wszelkie możliwe skutki awarii. Jedynie w reaktorach RBMK, których projekt oparty był na instalacjach militarnych i utajniony, zabrakło takiej przezorności. Skutki awarii w Czarnobylu stały się gorzkim przypomnieniem, że wymogów bezpieczeństwa nie wolno nigdy lekceważyć. Przy okazji awarii w Czarnobylu zagrożenia związane z możliwymi awariami i normalną pracą elektrowni jądrowych były wielokrotnie wyolbrzymiane,

głównie przez aktywistów organizacji antynuklearnych, zdobywających finanse i poparcie dla swoich działań poprzez zastraszenie ludzi. Tymczasem porównania prowadzone na zlecenie rządu szwajcarskiego przez Instytut im. Scherrera wykazały, że zagrożenie wskutek pracy elektrowni jądrowych w krajach OECD jest niższe niż dla jakiegokolwiek innego źródła energii [42]. Badania przeprowadzone w USA wykazały, że praca elektrowni jądrowych nie powoduje żadnego wzrostu zachorowań na raka lub białaczkę [43]. Prowadzone na mocy decyzji rządów W. Brytanii i Francji obszerne badania zachorowalności wokoło ośrodków przerobu paliwa wypalonego w Sellafield i La Hague potwierdziły, że nie powodują one zagrożenia radiacyjnego [30, 31, 44].

Kłamstwa „handlarzy strachu” były piętnowane przez odpowiedzialne organizacje lekarzy i radiologów zarówno w skali międzynarodowej [45], jak i w Polsce [46], jak pokazano w ramce poniżej.

POLSKIE TOWARZYSTWO FIZYKI MEDYCZNEJ

Zarząd Główny – Executive Board

Warszawa, 24.04.1990

Oświadczenie Zarządu Głównego PTFM

...Rozpowszechnianie fałszywych i tendencyjnych informacji ...stwarza warunki dla szerzenia nieuzasadnionej psychozy strachu, irracjonalnych i szkodliwych zachowań jednostkowych...

Załącznik...zawiera 10 najbardziej charakterystycznych poglądów dr Jaśkowskiego ...stanowią one **dowód braku kompetencji i rzetelności naukowej** ich autora. Zarząd Główny PTFM oświadcza, że całkowicie dystansuje się od poglądów głoszonych przez dr. J. Jaśkowskiego.

1 „Ilość radionuklidów, uwalnianych podczas bezawaryjnej pracy elektrowni jądrowej w ciągu jednego roku stanowi wartość porównywalną z 100 bombami, zrzuconymi na Hiroszimę (J. Jaśkowski, „Orientacje” 1988, s. 85).

**SĄ TO WARTOŚCI ZAFALSZOWANE IN PLUS
OK. 100-1000 MILIONÓW RAZY**

Dziś opinia publiczna popiera energetykę jądrową, a czołowi przedstawiciele ruchów ekologicznych, tacy jak J. Lovelock, twórca teorii Ziemi – Gaji tworzącej ogromny organizm ekologiczny lub dr Miller, jeden z założycieli Greenpeace, wyrażają poparcie dla energii jądrowej, jako źródła czystej i przyjaznej człowiekowi energii, mogącego zaspokoić potrzeby energetyczne świata. Polscy ekolodzy popierają również energię jądrową, jak widać z publikacji Wyższej Szkoły Ekologii i Zarządzania w Warszawie [47].



Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania
Wydział Ekologii –
Kierunek Ochrona Środowiska

POSTAWY EKOLOGÓW I EKOLOGII JAKO NAUKI WOBEĆ ENERGETYKI JĄDROWEJ

W sumie patrząc z perspektywy zdrowia i dobrobytu społeczeństwa energia jądrowa obok energii odnawialnych wydaje się najbardziej pożądanym źródłem energii, ze względu na zdrowie człowieka i ochronę środowiska energia jądrowa powinna być preferowanym źródłem energii przez następne kilkadziesiąt lat.

Pozostaje mieć nadzieję, że i inne organizacje ekologiczne potrafią docenić zalety energetyki jądrowej i nie dojdzie do ich ponownych wystąpień, w których w pogoni za chwilowymi zyskami przyniosłyby one szkodę całemu społeczeństwu.

LITERATURA

- [1] UNSCEAR Report 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation
- [2] European Utility Requirements for LWR Nuclear Power Plants, Revision C, 2001
- [3] STUK- Radiation and Nuclear Safety Authority: Safety Assessment of the Olkiluoto 3 NPP Unit for the Issuance of Construction License, 21.1.2005 Annex 1 to Statement Issued by STUK concerning the construction of the Olkiluoto NPP Unit 3
- [4] ICRP Committee 1 Task Group Report: Low-dose Extrapolation of Radiation-Related Cancer Risk, Draft report of December 2004, 12/421/04
- [5] MIFUNE M, et al. Cancer mortality survey in a Spa area (Misa, Japan) with a high radon background. *Jpn. J. Cancer Res.* (1992); 83: 1–5
- [6] WEI, L.: „Health effects on populations exposed to low level radiation in China in: Radiation and Public Perception, Benefits and Risks”, in: *Advances in Chemistry Series 243*, American Chemical Society, Washington DC (1995).
- [7] WEI L, SUGAHARA T. High background radiation area in China. *J. Rad. Research (Tokyo)* 41, Suppl. 1–76, 2000
- [8] NAIR MK, et al., Population study in the high natural background radiation area of Kerala, India. *Radiat Res.* 152, 145–148S, 1999
- [9] FRIGERIO, N.A., STOWE, R.S.: “Carcinogenic and genetic hazards from background radiation”, in: *Proc. of a Symp. on Biological Effects of Low-Level Radiation Pertinent to Protection of Man and His Environment*, (Chicago 3–7 Nov. 1975), IAEA, Vienna (1976)
- [10] HICKEY, R.J. et al. Low level ionizing radiation and human mortality: multi-regional epidemiological studies, *Health Physics*, Vol. 40, (May 1981) 625–641
- [11] COHEN, B.L.: (1995) Test of the linear-no threshold theory of radiation carcinogenesis for inhaled radon decay products. *Health Phys.* 68, 157–174
- [12] COHEN, B.L.: (1997b) Problems in the radon vs. lung cancer test of the linear no-threshold theory and a procedure for resolving them., *Health Phys.* 72
- [13] COHEN B.L.: ‘The cancer risk from low level radiation’, *Radiation Research*, vol. 149, 1998
- [14] SANDQUIST G.M. et al., Assessing Latent Health Effects from U.S. Background Radiation, *Proc. of ANS Meeting*, Nov. 1997
- [15] GREENLAND, S, ROBINS, J.: Ecologic studies – biases, misconceptions, and counterexamples, *Am. J. of Epidemiology*, Vol. 139, No 8. (1994) 747–760
- [16] GREENLAND, S, ROBINS, J.: Accepting the limits of ecologic studies, *Am. J. of Epidemiology*, Vol. 139, No 8. (April 15, 1994) 769–771
- [17] STIDLEY, C.A., SAMET, J.M.: A review of ecologic studies of lung cancer and indoor radon, *Health Physics*, Vol. 65 No 3, (Sept. 1993) 234–251
- [18] LUBIN J H.: The potential for bias in Cohen’s ecological analysis of lung cancer and residential radon *J. Radiol. Prot.* 22 141–8, 2002
- [19] COHEN, B.L.: (1994) Invited commentary: in defense of ecologic studies for testing a linear-no threshold theory. *American Journal of Epidemiology* 139, 765–71
- [20] COHEN, B.L., Answer to Drs Greenland and Robins, *Am. J. of Epidemiology*, Vol. 139, No. 8, 761 (April 15, 1994)
- [21] COHEN B. L.: Response to ‘The potential for bias in Cohen’s ecological analysis of lung cancer and residential radon’ *J. Radiol. Prot.* 22 (2002) 305–307
- [22] QUANFU SUN, et al.: Excess Relative Risk of Solid Cancer Mortality after Prolonged Exposure to Naturally Occurring High-Background Radiation in Yangjiang, China, *Radiation Res.* (Tokyo) 41, (2000) Suppl 433–52

- [23] ACADEMIE DES SCIENCES – Académie Nationale de Médecine: Dose–effect relationships and estimation of the carcinogenic effects of low doses of ionizing radiation, March 30, 2005
- [24] CARDIS E. et al., “Combined analysis of cancer mortality among nuclear industry workers in Canada, UK and the USA”, IARC Techn. Report No. 25, Lyon, (1995)
- [25] CALABRESE E.: Hormetic Dose–Response Relationship in Immunology: Occurrence, Quantitative Features of the Dose and Response, Mechanistic Foundations, and Clinical Implications. In: *Special edition of Critical Reviews in Toxicology* 35, 2–3, February–March 2005, 89–293
- [26] HOSODA, Y. et al., First analysis of mortality of nuclear industry workers in Japan, 1986–1992, *J. of Health Physics*, Vol. 32 No. 2, (1997) 173–184
- [27] MATANOSKI, G.M.: “Health effects of low–level radiation in shipyard workers– final report”, DOE DE–AC02–79 EV 10095, US Dept. of Energy, (1991)
- [28] NRPB, NATIONAL RADIOLOGICAL PROTECTION BOARD, “Cancer in the offspring of radiation workers: a record linkage study”, NRPB–R298, Nov. 1997
- [29] COMARE, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment, “Fourth Report, The incidence of cancer and leukaemia in young people in the vicinity of Sellafield site” (1994)
- [30] COMARE, Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment, “Tenth Report, The incidence of childhood cancer around nuclear installations in Great Britain (2005) www.comareorg.uk
- [31] POLLYCOVE M, FEINENDEGEN LE. Radiation-induced versus endogenous DNA damage: possible effects of inducible protective responses in mitigating endogenous damage. *Human Exp Toxicol* 2003, 22, 290–306
- [32] FEINENDEGEN L.E.: Low Doses of ionising Radiation: Relationship between Biological Benefit and Damage Induction. *World J Nucl Med* 2005, 4, 21–34
- [33] CLARKE R.: Control of low–level radiation exposure: time for a change? *J. Radiol. Prot.* 1999 Vol. 19 No. 2, 107–115
- [34] UNDP, UNICEF, UN–OCHA, WHO: The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident, A Strategy for Recovery, 25 January 2002
- [35] JAWOROWSKI Z.: (1998) All Chernobyl’s Victims: A Realistic Assessment of Chernobyl’s Health Effects, 21st Century Science & Technology, 11.1:14–25
- [36] JAWOROWSKI Z.: (2004) Lessons of Chernobyl: Nuclear power is Safe, *Science and Technology*, EIR, May 7, 2004
- [37] CARDIS E. et al.: Risk of Thyroid Cancer After Exposure to I–131 in Childhood, *J. of the National Cancer Institute*, Vol. 97, No. 10, May 18, 2005 pp. 724–732
- [38] BOICE J.D.: Radiation–induced Thyroid Cancer – What’s New? *J. of the National Cancer Institute*, Vol. 97, No. 10, May 18, 2005 p. 703
- [39] Study of Chernobyl–Affected Areas Supports Benefits of Extra Iodine. *Nucleonics Week* June 16, 2005
- [40] HIRSCHBERG S., STRUPCZEWSKI A.: How Acceptable? – Comparison of Accident Risks in Different Energy Systems, *IAEA Bull.* 41/1/1999, s. 25–30, 1999
- [41] HIRSCHBERG, S., et al.: “Severe Accidents in the Energy Sector”. PSI Report Nr. 98–16, Paul Scherrer Institute, Switzerland, (November 1998)
- [42] JABLON, S., et al.: “Cancer in populations living near nuclear facilities”, National Cancer Institute, NIH Publication No. 90–874, US Dept. of Health and Human Services, (July 1990)
- [43] GROUPE RADIOECOLOGIE NORD CONTENTIN “Estimation des niveaux d’exposition aux rayonnements ionisants et des risques de leucémies associées de populations du Nord–Contentin, Synthese”, (July 1999)
- [44] SHIHAB–ELDIN, et al., Is there a large risk of Radiation? A critical review of pessimistic claims, *Environment Intern.* Vol. 18, (1992) 117–151
- [45] Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej. Oświadczenie Zarządu Głównego PTFM z 24 kwietnia 1990
- [46] Wyższa Szkoła Ekologii i Zarządzania w Warszawie, Wydział Ekologii, Kierunek Ochrona Środowiska (2004) Postawy ekologów i ekologii jako nauki wobec energetyki jądrowej, <http://www.nuclear.pl>