ARTYKUŁ REDAKCYJNY

EDITORIAL

MŚ

FUKUSHIMA – 25 LAT PO CZARNOBYLU

FUKUSHIMA – 25 YEARS AFTER CHERNOBYL

Jan Grzesik

Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego w Sosnowcu
Dyrektor: dr n. med. Piotr Z. Brewczyński

Streszczenie

Artykuł omawia zagrożenia zdrowia ludności Japonii i krajów sąsiednich, będące skutkiem wielkiej awarii radiacyjnej (poziom 7 w skali INES) w Elektrowni Jądrowej Fukushima Dai-ichi I. Katastrofa została spowodowana przez falę tsunami, wywołaną trzęsieniem ziemi, które 11 marca 2011 roku nawiedziło północno- wschodnie wybrzeże Japonii. To trzęsienie osiągnęło w hipocentrum stopień 9 na skali Richtera.

Dla ułatwienia czytelnikowi zrozumienia istoty i znaczenia tej awarii, artykuł zaznajamia go z fizykalnymi podstawami funkcjonowania reaktorów jądrowych, z hipotetycznymi przyczynami ich uszkodzeń i zakłóceń ich pracy, z mechanizmem uwalniania zanieczyszczeń promieniotwórczych do środowiska oraz z konsekwencjami, jakie taka awaria wywołuje dla ludności zamieszkującej na terenie, na który opadają wyemitowane izotopy promieniotwórcze.

Awaria w Fukushimie wyróżnia się tym, że po raz pierwszy do środowiska przedostały się znaczne ilości izotopu plutonu ^{239}Pu, groźnego dla zdrowia.

Autor wyraża w tym artykule swoją negatywną opinię odnośnie możliwości zapewnienia elektrowniom jądrowym 100% bezawaryjności i pełnego bezpieczeństwa dla populacji ludzkiej. Awaria radiacyjna w EJ Fukushima Dai-ichi jest trzecią w historii energetyki jądrowej, wielką awarią – zawinioną przez człowieka.

Zwraca też uwagę na występowanie w tej dziedzinie zjawiska lobbowania za istnieniem i rozwojem energetyki jądrowej. Jest ono motywowane egoistycznym interesem korporacyjnym, a uczestniczą w nim przedstawiciele środowisk naukowych, koncernów przemysłowych oraz instytucji i gremiów wojskowych.

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa, Fukushima, trzęsienie ziemi, tsunami, awaria radiacyjna, paliwo jądrowe, izotopy promieniotwórcze, uran, pluton.

Summary

The paper considers health risk of Japanese population and neighboring countries being the consequence of the major accident (level 7 on INES scale) in Fukushima Dai-ichi I nuclear power station.

On March 11 an earthquake of magnitude 9 on Richter scale, off the Pacific coast of the Japanese main land, caused a massive tsunami that crippled the cooling systems at the nuclear plant. That led to reactor meltdowns, hydrogen explosions, and major release of radioactive material into the air.

To enable a better understanding of the different and severe consequences of the accident, the article

Nadesłano: 28.11.2011
Zatwierdzono do druku: 2.12.2011

describes the physical background of functioning of nuclear reactors, the hypothetical reasons of damages and interference of their operations, the mechanism of releasing radioactive pollutants into the atmosphere and the consequences for the population living in the area, on which radioactive fallout is observed

The accident in Fukushima is remarkable because for the first time considerable amounts of plutonium isotope ^{239}Pu were released into the environment.

The author presents his negative opinion concerning the prospect that nuclear power stations will be 100% failure-free and will be totally safe for human population.

The Fukushima nuclear disaster is the third major accident known in the history of nuclear power plants caused or enabled by man.

Attention is also paid to phenomenon of lobbing pro existence and development of nuclear power. It is motivated by selfish corporation interest in which representatives of scientific community, industrial corporations and military bodies play a significant role.

Key words: nuclear power plants, Fukushima,

Wprowadzenie

11 marca 2011 r. o godzinie 14.46 czasu lokalnego, nastąpiło u północno-wschodnich wybrzeży Japonii trzęsienie ziemi o sile największej od 140 lat, czyli od kiedy w tym kraju zaczęto rejestrować ruchy skorupy ziemskiej. Japońska Agencja Meteorologiczna podała w swoim oficjalnym komunikacie, że w hipocentrum, 24 km pod dnem Pacyfiku w odległości około 130 km od lądu, osiągnęło ono 9 stopień na skali Richtera [1]. Ta skala jest ku górze otwarta, możliwe są zatem stopnie wyższe, jednakże tylko jeden raz w historii ludzkości zdarzyło się trzęsienie silniejsze, ocenione na 9,5 stopnia [2].

Zgodnie z oceną naukowców z NASA, trzęsienie było tak silne, że przyspieszyło rotację Ziemi, a to skróciło czas trwania doby o około 1,8 mikrosekundy (milionowej części sekundy). Przesunęło również oś Ziemi o 17 cm i wyspę Honsiu o 2,4 metra [3].

Japonia jest położona na styku 3 niestabilnych płyt tektonicznych i dlatego przeżyła w przeszłości już wiele dotkliwych katastrof. Aby ograniczyć ich skutki, zorganizowała na swoim terenie gęstą sieć stacji sejsmicznych, które prowadzą ciągłą kontrolę ruchów podłoża. Bardzo często na wiele godzin przed dużym wstrząsem, stacje te rejestrują wstrząsy mniej intensywne, zapowiadające nadejście większego kataklizmu. To pozwala instytucjom pełniącym krajowy nadzór sejsmiczny ostrzec władze administracyjne, mieszkańców i przemysł na danym terenie, oraz wskazać zainteresowanym działania i zachowania ochronne.

Na Honsiu, największej z 4 dużych wysp Japonii, na której położone jest Tokio, w miastach prefektur Miyagi, Fukushima, Ibaraki i Tochigi natężenie trzęsienia przekroczyło 6 stopień, osiągając maksymalnie stopień 7, natomiast na pozostałym lądzie, od wyspy Hokkaido na północy po wyspę Sikoku i Kiushu na południu, nie przekroczyło 6 stopnia skali Richtera. Choć tam w wielu miejscach doszło do zniszczeń budynków, do awarii sieci elektrycznej i kolejowej, do uszkodzenia dróg i autostrad oraz do wybuchu licznych pożarów, liczba ofiar była niewielka, bo ludność została zawczasu ostrzeżona.

Totalnego spustoszenia wschodniego wybrzeża Japonii dokonała natomiast ogromna fala tsunami, powstała na Pacyfiku nad hipocentrum trzęsienia. Po jej dojściu do lądu osiągnęła ona niespodziewaną wysokość kilkunastu metrów, w niektórych miejscach nawet blisko 30 metrów i – jako megaściana wodna – wpłynęła w głąb lądu do miejsc odległych od brzegu oceanu nawet o 10 kilometrów, topiąc i niszcząc wszystko na swojej drodze. Zdewastowane zostały miasta, wsie, uprawne pola, zakłady przemysłowe i cała infrastruktura.

Jeszcze raz ludzkość doświadczyła, jak bezsilny i bezradny jest człowiek wobec wszechpotęgi przyrody.

Liczbę mieszkańców, którzy w wyniku tego trzęsienia i fali tsunami tam zginęli lub zaginęli, szacuje się na około 28 tysięcy. Ta wielkość jest znacznie mniejsza, niż liczba ofiar szeregu dawniejszych zdarzeń tego rodzaju: w Chinach w 1920 roku – 200 tysięcy, w Japonii w 1923 roku – ponad 142 tysiące, w Chinach w 1976 roku – 242 tysiące, w regionie Indonezji w 2004 roku – ponad 227 tysięcy, w Haiti w 2010 roku – ponad 222 tysiące [4].

O szczególnym znaczeniu trzęsienia w dniu 11 marca 2011 roku nie zadecydowały straty materialne ani też liczba jego ofiar. Skutki te – mimo ich dramatycznego wymiaru i wywołania powszechnego współczucia – mają znaczenie lokalne. Powodem utrzymującego się światowego zainteresowania tym trzęsieniem są zniszczenia jakie fala tsunami spowodowała w Elektrowni Jądrowej (EJ) Fukushima Dai-ichi I, jednej z czterech EJ położonych nad Pacyfikiem, w regionie najbardziej dotkniętym przez trzęsienie. W tej elektrowni doszło wskutek uszkodzenia istotnych instalacji do uwolnienia znacznej ilości materiałów promieniotwórczych, czyli do awarii radiacyjnej.

Według skali INES (International Nuclear and Radiological Event Scale) – skali zdarzeń jądrowych i radiacyjnych, wprowadzonej i stosowanej przez IAEA – Międzynarodową Agencję Energii Atomowej – do oceny znaczenia takich wypadków dla publicznego bezpieczeństwa, ta awaria osiągnęła jej najwyższy – 7 poziom [5].

Na tym samym poziomie 7, sklasyfikowano 25 lat temu także katastrofę w Czarnobylu.

Warunkiem uznania danej awarii za zdarzenie kwalifikowane na najwyższym poziomie tej skali, jest niekontrolowane uwolnienie znacznych ilości materiału radioaktywnego, z zagrożeniem zdrowia tysięcy ludzi i skażeniem znacznego terenu, wymagającym wdrożenia w szerokiej skali działań przewidzianych dla wielkich katastrof.

Jednym z kryteriów branych pod uwagę przy ocenie takiego zdarzenia jest ilość uwolnionego izotopu jodu ^{131}J. Gdy do atmosfery przedostało się izotopu ^{131}J ponad 10^{15} Bq (bekereli) – jednostek aktywności promieniotwórczej, wówczas odpowiada to poziomowi 7 na skali INES.

Oficjalne japońskie instytucje, kompetentne w tej dziedzinie, określiły aktywność materiału promieniotwórczego, uwolnionego wskutek awarii w EJ Fukushima Dai-ichi I, w pierwszych dniach po jej zajściu na od 3,7 razy 10^{17} Bq do 6,3 razy 10^{17} Bq. Jest to ilość około 100 razy większa, niż wyżej podana wielkość progowa dla poziomu 7 [6].

Ponieważ na co dzień nie mamy do czynienia z materiałem promieniotwórczym i trudno nam sobie wyobrazić, czy to dużo czy mało, pomocne może być wyrażenie tej masy – równoważną ilością radu, powszechnie znanego pierwiastka promieniotwórczego.

Otóż 3,7 razy 10^{17} Bq odpowiada aktywności 10 ton radu.

Gdy w 1932 roku powstał w Warszawie Instytut Radowy, Maria Skłodowska-Curie podarowała wówczas temu Instytutowi 1 gram radu, który był jej własnością, miał znaczną wartość materialną, a przede wszystkim ogromne znaczenie kliniczne i naukowe.

Warto też zauważyć, że poziomy skali INES są wyrażane cyframi od 0 do 7. Odpowiadają im następujące, oficjalnie przyjęte określenia słowne: poziom 0 – to zdarzenie bez znaczenia, poziom 1 – to anomalia, poziom 2 – to incydent, poziom 3 – to incydent poważny, poziom 4 – to awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem, poziom 5 – to awaria z zagrożeniem poza obiektem, poziom 6 – to poważna awaria, poziom 7 – to wielka awaria.

Takie określenia obrano, pomimo że termin „katastrofa", w porównaniu z określeniem „awaria", trafniej opisuje to, co się zdarzyło w Czarnobylu i w EJ Fukushima Dai-ichi I.

Ta terminologia rodzi podejrzenie, że w międzynarodowych instytucjach kontrolnych stosuje się wyłącznie określenia, które w globalnym społeczeństwie nie mają w ogóle, lub tylko słabą konotację negatywną. Z jednej strony może to oznaczać, że unika się terminów, które mogłoby wzbudzić w społeczeństwie wątpliwości, obawy i postawy negatywne wobec całej problematyki energetyki atomowej, a z drugiej – może być też uważane za wyraz dążenia do zapewnienia energetyce jądrowej, nie pozbawionej przecież groźnych wad, większej akceptacji społecznej. Pewna wątpliwość, co do najgłębszych intencji wyboru tej terminologii, jednak pozostaje.

Przyczyny techniczne oraz scenariusze przebiegu zdarzeń w Czarnobylu i Fukushimie są istotnie różne, lecz łączy je wspólny fakt niekontrolowanego uwolnienia w obu przypadkach dużej masy materiału promieniotwórczego. Choć wstępne szacunki określiły jej ilość w EJ Fukushima Dai-ichi I, jako 10 razy mniejszą, niż w Czarnobylu, to również ta ilość przekroczyła wielkość przyjętą za próg poziomu 7, najwyższego w skali INES. Nie bez znaczenia jest natomiast to, że zdarzenie w Czarnobylu dotyczyło jednego reaktora i zostało w stosunkowo krótkim czasie opanowane, natomiast awaria w Fukushimie dotyczy 4 reaktorów, które zawierają 10 razy więcej materiałów promieniotwórczych niż było ongiś w Czarnobylu, trwa ona nadal i nawet po 8 miesiącach cechuje się dużą dynamiką, z małą możliwością przewidzenia jej dalszego rozwoju. Po raz pierwszy w historii istnienia energetyki jądrowej, do atmosfery i środowisk przedostał się też nadzwyczaj tok-syczny i silnie promieniotwórczy izotop plutonu ^{239}Pu [7].

Jedno jest wszakże już dzisiaj pewne: rozproszenie tak dużej ilości materiału promieniotwórczego w powietrzu i w wodach Pacyfiku stanowi nie tylko hipotetyczne ryzyko dla zdrowia całej populacji ludzkiej, bez względu na miejsce zamieszkania, lecz jest już teraz bardzo realnym czynnikiem zagrażającym zdrowiu wielu ludzi w skali globalnej.

Nie mając żadnej możliwości bezpośredniego wpływu na wielkość tego ryzyka, ani też skutecznej ochrony przed wpływem uwolnionych izotopów promieniotwórczych na nasze ciała, oraz bez względu na to, czy, u ilu i których członków naszej populacji, uszkodzenia zdrowia, jako skutek tego narażenia zostaną kiedyś stwierdzone, wydaje się celowe, co najmniej orientacyjne poznanie podstaw fizykalnych oraz zasad funkcjonowania energetyki jądrowej. Jako równie uzasadnione, celowe i pouczające należy przyjąć poznanie istoty i obiektywnych uwarunkowań katastrofy w Fukushimie, jej chronologicznego przebiegu, a zwłaszcza tych jej cech, które są powodem ryzyka zdrowotnego – dla ludności Japonii i całego globu.

Należy tak uczynić choćby z uwagi na własny komfort psychiczny, bo największe niebezpieczeństwa uświadomione i poznane, tracą istotną część swojej grozy, a pełniejsza wiedza o nich – ułatwia wyrobienie sobie poprawniejszego poglądu na ich obiektywne znaczenie dla nas, pozwala na dokonanie rozsąd-

niejszych wyborów oraz na podjęcie trafniejszych decyzji.

Kilka informacji podstawowych

W cieplnych elektrowniach konwencjonalnych i w EJ energia elektryczna powstaje w ten sam sposób: prąd wytwarzają generatory elektryczne. Różnica między nimi polega na innych źródłach energii cieplnej, potrzebnej do uzyskania pary wodnej o wysokim ciśnieniu, wprawiającej w ruch wirniki turbin napędzających te generatory.

W elektrowniach konwencjonalnych, ta energia pochodzi ze spalania węgla, ropy, albo gazu. W EJ, źródłem ciepła jest rozszczepienie niestabilnych jąder atomowych uranu albo plutonu, w reaktorze jądrowym.

Uran jest ostatnim (92) naturalnym pierwiastkiem w układzie okresowym. Występuje w przyrodzie w postaci mieszaniny 3 izotopów. Ponad 99% – to ^{238}U, w śladowych ilościach – to ^{234}U, natomiast około 0,7% stanowi izotop ^{235}U [8].

Ten ostatni ulega rozszczepieniu samoistnemu, lecz łatwo ulega również rozszczepieniu pod wpływem wniknięcia z zewnątrz do jego jadra jednego neutronu o niewielkiej energii kinetycznej, nazywanego neutronem termicznym. Ten neutron pochodzi z innego jądra, które uległo rozszczepieniu samoistnemu.

Gdy taki neutron wnika do jądra atomu ^{235}U, wywołuje jego rozpad na dwa inne jądra – zbliżonej wielkości. Na ogół liczba masowa jednego z izotopów pochodnych mieści się wówczas w przedziale od 90 do 120, a drugiego – od 135 do 145. W trakcie rozszczepienia jądra atomu ^{235}U następuje też emisja dwóch, czasami – trzech neutronów, które taką reakcję mogą powtórzyć w kolejnych atomach. W ten sposób zostaje zapoczątkowana lawinowa reakcja rozszczepienia jąder atomów ^{235}U.

Poza powstaniem coraz większej ilości izotopów pochodnych, oraz poza emisją neutronów w liczbie rosnącej w postępie geometrycznym, rozszczepienie każdego jądra ^{235}U wyzwala pewną ilość energii cieplnej.

Łączna ilość ciepła powstałego w wyniku rozszczepienia jąder izotopu ^{235}U, znajdującego się w 1 gramie paliwa jądrowego, równa się ilości ciepła uzyskiwanego ze spalenia około 1,5 tony węgla.

To ciepło powstaje kosztem masy rozszczepianego jądra. Jest bowiem faktem, że suma mas wszystkich produktów pochodnych procesu rozszczepienia, czyli wyemitowanych neutronów i powstałych izotopów, jest mniejsza od wyjściowej masy rozszczepianego jądra. Ta brakująca masa zamieniła się w trakcie rozszczepienia w energię cieplną, której ilość określa ogólnie znany wzór Einsteina:

$$E = mc^2$$

w którym:

E – jest powstałą energią cieplną,
m – jest tą brakującą masą,
c^2 – jest prędkością światła w próżni (ok. 300 tysięcy km na sekundę) podniesioną do kwadratu.

Stosując ten wzór można wykazać, że całkowita zamiana 1 grama masy jakiegokolwiek ciała w energię, daje ilość ciepła równą ilości uzyskiwanej ze spalenia 3500 ton węgla. Ten wynik tłumaczy, dlaczego EJ mogą przez lata produkować energię elektryczną, zużywając w tym czasie niezwykle małą ilość paliwa jądrowego.

Aby Uran stał się paliwem dla EJ, musi zostać wzbogacony w izotop ^{235}U, z wyjściowej ilości 0,7% do około 4% – gdy paliwo jest przeznaczone dla reaktorów nowszych i do kilkudziesięciu % – dla reaktorów starszego typu. Uran, który zawiera ponad połowę izotopu ^{235}U, jest wykorzystywany do celów wojskowych.

Gdy izotopu ^{235}U jest w paliwie mniej, niż dany typ reaktora tego wymaga, nie dochodzi do reakcji lawinowych, które w reaktorze jądrowym poddają się sterowaniu i umożliwiają regulację ilości wytwarzanego ciepła.

W produkcji paliwa jądrowego stosowany jest najczęściej uran w postaci jego tlenków. Ze sproszkowanych tlenków uranu prasuje się pastylki o średnicy 1 cm i grubości 1,5 cm, które są umieszczane w kilkumetrowych prętach: rurkach wykonanych z cyrkonu, nazywanych koszulkami. Kilka takich prętów tworzy element paliwowy. Takich elementów paliwowych jest w reaktorze kilkaset. Pozostają one źródłem ciepła przez 3–4 lata [9].

Proces sterowania pracą reaktora polega na kontroli ilości neutronów docierających do jąder izotopu ^{235}U. W tym celu wprowadza sie miedzy pręty z uranem wzbogaconym w izotop ^{235}U, elementy sterownicze. Jedne z nich swoją zawartością spowalniają neutrony – zmniejszając w ten sposób ich energię kinetyczną do poziomu typowego dla neutronów termicznych, inne absorbują niektóre neutrony na ich drodze ku jądrom tego izotopu. Im głębiej elementy sterownicze zostają wprowadzone między pręty paliwowe w rdzeniu reaktora, tym mniej neutronów wyzwala kolejne reakcje rozszczepienia i tym mniej powstaje ciepła.

Należy sobie uświadomić, że z chwilą umieszczenia prętów z paliwem jądrowym wewnątrz rdzenia reaktora, ich produkcja ciepła, będącego wynikiem rozszczepień jąder atomów izotopu ^{235}U znajdującego się w tym paliwie wewnątrz prętów, jest całkowicie uzależniona od elementów sterowniczych, od ich jakości, oraz od ich liczby między prętami z paliwem

i głębokości, na którą zostają wprowadzone. Ich optymalne działanie, które dla pracy reaktora jest krytycznie ważne, kontrolują niezwykle precyzyjne układy elektroniczne.

Z podanych informacji wynika, że gdy pręty paliwowe, z uranem cechującym się małą aktywnością promieniotwórczą, są w reaktorze czynne, ubywa w nich izotopu ^{235}U, a pojawiają się narastające ilości izotopów pochodnych, które pod względem chemicznym mogą być znacznie bardziej toksyczne niż uran, a ponadto są wielokrotnie bardziej aktywne promieniotwórczo. Gdy ich ilość przekroczy pewną krytyczną wartość, utrudnią one dalszą lawinową reakcję rozszczepienia jader izotopu ^{235}U. Takie pręty, jako „wypalone", bo wyczerpały swoje możliwości rozszczepiania jąder izotopu ^{235}U, są jako źródło ciepła już za mało wydajne i wymagają dlatego wymiany na nowe. „Wypalone pręty paliwowe" stają się pojemnikami około 5% wysoce niebezpiecznych izotopów promieniotwórczych, w tym 1% plutonu ^{239}Pu. Część z nich, to izotopy lotne, natomiast większość – to ciała stałe. Niektóre z nich cechuje krótki okres życia, jak na przykład izotop jodu ^{131}J, którego okres połowicznego rozpadu wynosi tylko 8 dni, ale większość pozostaje radioaktywna przez dziesiątki, setki i tysiące lat. Wśród nich na szczególną uwagę zasługują izotopy strontu – ^{90}Sr z okresem połowicznego rozpadu 29 lat, cezu – ^{137}Cs z okresem połowicznego rozpadu 37 lat, a zwłaszcza plutonu – ^{239}Pu z półokresem rozpadu 24 tysiące lat.

Ze względu na takie cechy wypalonych prętów, są one przechowywane na terenie elektrowni jądrowej przez dziesiątki lat, zanurzone w wodzie w basenach przechowalnikach, znajdujących się blisko reaktorów. Pod względem wydajności cieplnej – za słabe jako paliwo reaktora, są one nadal źródłem znacznej ilości ciepła wydzielanego przez zawarte w nich izotopy promieniotwórcze, w których zachodzą egzotermiczne reakcje jądrowe, nie poddające się kontroli. Dlatego wymagają skutecznego chłodzenia. Woda, pokrywająca wypalone pręty parometrową warstwą, to chłodzenie zapewnia, chroniąc jednocześnie otoczenie przed promieniowaniem jonizującym, emitowanym przez aktywną zawartość prętów.

Pluton, jako pierwiastek w przyrodzie nie występuje. Został po raz pierwszy wytworzony przez Amerykanina, Glenna T. Seaborga w 1940 roku [10]. Fakt ten został jednak utajniony do 1946 roku, bo ten nowy pierwiastek posłużył USA do wyprodukowania jednej z dwóch bomb atomowych, użytych w 1945 roku w wojnie z Japonią. Pierwsza bomba, zrzucona na miasto Hiroshima, była bombą uranową, natomiast bomba zrzucona parę dni później na miasto Nagasaki, była bombą plutonową.

Spośród 15 izotopów plutonu najważniejszy jest jego izotop ^{239}Pu, który może być paliwem dla reaktorów jądrowych, lecz przede wszystkim jest używany do produkcji bomb atomowych. Powstaje z izotopu uranu ^{238}U, rażonego neutronami uwolnionymi w wyniku reakcji rozszczepienia jąder izotopu ^{235}U, w czasie działania uranowego paliwa w reaktorach jądrowych.

Jak dziś wiadomo, zbudowanie pierwszej na świecie elektrowni jądrowej w ówczesnym Związku Radzieckim, uruchomionej 27 kwietnia 1954 roku, miało na celu głównie produkcję plutonu, a nie pokrycie potrzeb energetycznych kraju.

Ten sam motyw przyświeca współcześnie tym krajom, które – nie mając jeszcze dostępu do broni atomowej – dążą bez względu na koszty do zbudowania u siebie elektrowni jądrowych. Dzięki nim wejdą w posiadanie plutonu, którego już mała ilość, około 6 kg, wystarczy do wyprodukowania jednej bomby atomowej.

Pod względem chemicznym pluton należy do najsilniejszych trucizn. Największe niebezpieczeństwo dla człowieka stanowi jednak dlatego, ponieważ jego mikrocząstki rozproszone w powietrzu łatwo przedostają się do organizmu, przenikają do wnętrza komórek, kumulują się zwłaszcza w kościach, i tam atomy izotopu ^{239}Pu emitują ze swoich jąder wysokoenergetyczne cząstki alfa. Te – działając na najkrótszej drodze, bo ich źródło znajduje się już wewnątrz komórki – niszczą organelle komórkowe i uszkadzają DNA jąder komórkowych, co prowadzi do śmierci komórek, a niekiedy do inicjacji procesu nowotworowego.

Izotop plutonu ^{239}Pu, odzyskany z wypalonych prętów paliwowych, może być użyty jako nowe paliwo dla reaktorów jądrowych. W mieszance z izotopem uranu ^{235}U, tworzy paliwo noszące nazwę MOX (Mixed OXide fuel). Ze względu na zawartość plutonu jest ono znacznie bardziej niebezpieczne, niż pręty wypełnione tylko uranem. Jest też 2 tysiące razy bardziej toksyczne niż paliwo jądrowe, które po wybuchu IV reaktora w Czarnobylu przedostało się wówczas do powietrza atmosferycznego. Mimo to MOX jest wytwarzane w narastających ilościach, ponieważ umożliwia utylizację plutonu z demontowanych, wojskowych głowic nuklearnych [11].

Awaria w Elektrowni Jądrowej Fukushima Dai-ichi

W 30 krajach świata czynnych jest obecnie 435 reaktorów jądrowych, stanowiących źródło ciepła do napędzania generatorów energii elektrycznej. Około 90 z nich znajduje się na terenach, na których zdarzają się trzęsienia ziemi względnie erupcje wul-

kanów. Większość reaktorów istnieje w krajach, które dysponują arsenałem broni nuklearnej. W USA jest ich 103, we Francji – 59, w Japonii – 55, w Wielkiej Brytanii – 35, w Rosji – 31, w Indiach – 20 [12].

Ogólna moc elektryczna wszystkich EJ wynosi obecnie około 373 GW (Gigawatów), czyli 373 tysiące Megawatów, albo 373 miliony Kilowatów. Dla porównania: ogólna moc wszystkich elektrowni wykorzystujących jako źródło ciepła węgiel wynosi obecnie około 1615 GW, a wszystkich hydroelektrowni – ponad 566 GW. Ilość elektryczności, uzyskiwana w skali światowej z elektrowni jądrowych, stanowi obecnie tylko około 17% globalnej produkcji tej energii [12].

Od czasu powstania pierwszej elektrowni atomowej, opracowano wiele różnych reaktorów, jednakże 65% wszystkich obecnie pracujących, to urządzenia typu PWR (Pressurized Water Reactor) – reaktory chłodzone wodą pod ciśnieniem około 15 MPa = 150 atmosfer. Dzięki temu ciśnieniu woda odbierająca ciepło reaktora, choć ma temperaturę równą roboczej temperaturze reaktora – około 300° C, pozostaje w stanie ciekłym. W 22% są to reaktory BWR (Boiling Water Reactor), w których ciepło jest odbierane przez wrzącą wodę. W 55 krajach istnieje też około 250 reaktorów jądrowych służących celom naukowym i eksperymentalnym, a na morzach i oceanach pływa około 220 reaktorów, napędzających łodzie podwodne, lotniskowce, lodołamacze [13].

Japonia ma łącznie 55 reaktorów jądrowych, ale dotąd nie posiada broni jądrowej. Wszystkie są położone na terenach sejsmicznie aktywnych, podlegają często wstrząsom i są dlatego odpowiednio zbudowane. Między innym są one wyposażone w czujniki sejsmiczne, które – po zarejestrowaniu wstrząsu przekraczającego określone natężenie – uruchamiają procedurę wyłączania reaktorów.

Wyłączanie reaktora jądrowego polega na przerwaniu lawinowej reakcji rozszczepienia jąder paliwa atomowego, generującej ciepło, a następnie na obniżeniu temperatury paliwa i całego reaktora z poziomu roboczego, wynoszącego kilkaset stopni, do temperatury poniżej 100 stopni, czyli do stanu „zimnego wyłączenia reaktora".

Spośród 15 reaktorów zainstalowanych w 4 wyżej wspomnianych elektrowniach, w chwili trzęsienia czynnych było 11, w tym 3 reaktory typu BWR w EJ Fukushima Dai-ichi I.

W dwóch z nich źródłem ciepła są pręty paliwowe wypełnione uranem wzbogaconym w izotop ^{235}U, natomiast w reaktorze trzecim paliwem jest mieszanka uranowo-plutonowa MOX.

Po zarejestrowaniu pierwszych wstrząsów, wszystkie pracujące reaktory skutecznie wyłączono.

W odróżnieniu od elektrowni konwencjonalnych, w których wyłączenie kotłów oznacza przerwanie wytwarzania ciepła, w przypadku EJ wyłączony reaktor jeszcze przez długi czas wytwarza tak zwane ciepło po-wyłączeniowe. Swoje źródło ma ono w nie poddających się kontroli reakcjach jądrowych, zachodzących w wysokoaktywnych izotopach, powstałych w paliwie atomowym w czasie jego normalnego działania, jako źródło ciepła.

Po godzinie od momentu wyłączenia, ilość wytwarzanego ciepła wyłączeniowego wynosi jeszcze około 1% mocy, jaką reaktor generuje podczas normalnej pracy. Po 24 godzinach – spada ona do 0,5%, a dopiero po miesiącu – do 0,1% [14].

Sprawność zamiany energii cieplnej w energię elektryczną wynosi w elektrowniach jądrowych tylko około 30%. Dlatego moc cieplna reaktorów musi być około 3 razy większa od mocy elektrycznej danej elektrowni. Oznacza to, że w przypadku EJ Fukushima Dai-ichi, jej 3 czynne reaktory o łącznej mocy elektrycznej 1959 MW, a zatem mocy cieplnej około 6000 MW, wytwarzały jeszcze po godzinie od ich wyłączenia ciepło po-wyłączeniowe w ilości 1% mocy roboczej, czyli około 60 MW.

Jest to ilość ciepła wystarczająca do ogrzania w naszym klimacie zimą około 15 tysięcy mieszkań, mających powierzchnię po 50 m^2 każde.

To ciepło po-wyłączeniowe, choć w stosunku do pełnej mocy reaktora już niewielkie, jest nadal ilością ogromną i musi być z reaktora skutecznie wyprowadzone przez układ chłodzenia. Bez obiegu wystarczającej ilości chłodziwa – temperatura i ciśnienie w instalacji chłodzącej oraz w rdzeniu reaktora wzrasta do wartości powodujących pękanie prętów paliwowych z uwolnieniem stałych i gazowych izotopów promieniotwórczych. Pęknięte i zniekształcone pręty paliwowe mogą uniemożliwić regulacyjne ruchy elementów sterowniczych, ze skutkiem wymknięcia się reaktora spod kontroli.

Przegrzanie prętów paliwowych, korodujące działanie pary wodnej na koszulki cyrkonowe i ich uszkodzenie doprowadza też do powstania dużych ilości wodoru, który uwolniony – w zetknięciu z tlenem powietrza – wybucha.

W końcu – za wysoka temperatura doprowadza do stopienia prętów paliwowych i rdzenia reaktora, a to uniemożliwia jakiekolwiek sterowanie reaktorem. Jest to najgroźniejszy przebieg zdarzeń, jaki może w EJ zaistnieć.

Dlatego krytycznie ważne jest ciągłe, skuteczne chłodzenie reaktora po jego wyłączeniu.

Obieg chłodziwa, w przypadku reaktorów w EJ Fukushima Dai-ichi – jest to woda, zapewniają bardzo wydajne pompy, zasilane prądem ze źródła spoza własnej elektrowni, gdyż po wyłączeniu – jej generatory elektryczne nie pracują. W przypadku

braku zasilania obcego, włączają się awaryjne agregaty prądotwórcze, napędzane silnikami diesla, a gdy te zawodzą – zasila się pompy z akumulatorów, znajdujących się na terenie elektrowni.

Prócz reaktorów jądrowych, stałego, intensywnego chłodzenia wymagają także zużyte pręty paliwowe. Ze względu na ich znacznie większą aktywność promieniotwórczą, w porównaniu z prętami nowymi, oraz z uwagi na ich nadal wysoką temperaturę – są one przechowywane w specjalnych basenach przechowalnikach, wypełnionych wodą sięgającą parę metrów powyżej zanurzonych prętów. Woda używana w tym celu nie może zawierać składników powodujących korozję ich cyrkonowych koszulek. W tych przechowalnikach pozostają tak długo, aż ich aktywność promieniotwórcza zmaleje do poziomu pozwalającego na ich względnie bezpieczny transport do zakładów zajmujących się ich utylizacją.

Woda basenu chroni otoczenie przed promieniowaniem i odbiera ciepło powstające w prętach, dlatego wymaga częstej wymiany i uzupełnienia. Brak dopływu wystarczającej ilości wody, przy ciągłym jej odparowywaniu, doprowadza do obnażania prętów. Wtedy wzrasta natężenie promieniowania jonizującego na terenie EJ oraz dochodzi do przegrzania prętów i ich stopienia oraz pękania, z uwolnieniem nadal w nich istniejących lotnych i stałych izotopów promieniotwórczych.

Takich basenów w elektrowni Fukushima Dai-ichi I jest 6, po jednym przy każdym reaktorze, oraz 1 basen wspólny. W nich znajduje się łącznie około 1760 ton zużytego paliwa w postaci prętów przechowywanych od niemal 40 lat, to jest od czasu uruchomienia w tej EJ pierwszych reaktorów.

Wypalone pręty są przechowywane na terenie EJ między innymi dlatego, ponieważ żaden kraj, spośród 30 posiadających elektrownie jądrowe, nie rozwiązał dotąd problemu optymalnego, bezpiecznego i ostatecznego składowania – „po wsze czasy" odpadów promieniotwórczych, powstających w trakcie pracy EJ.

A jest tych odpadów w skali globu już wiele tysięcy ton.

Wyżej opisany scenariusz potencjalnej awarii radiacyjnej wywołanej przez brak skutecznego chłodzenia reaktora i wypalonych prętów paliwowych zrealizował się na terenie EJ Fukushima Dai-ichi I w dniu trzęsienia ziemi.

Po dotarciu wstrząsów do czujników, reaktory zostały wyłączone, z zachowaniem pracy układu chłodzenia. Ponieważ chwilę później ruchy ziemi przerwały zewnętrzne linie dopływu energii elektrycznej, włączyły się dieslowskie agregaty prądotwórcze i zapewniły dalszą pracę pomp. Niestety, gdy po godzinie fala tsunami zalała ląd, mur ochronny, który miał EJ skutecznie zabezpieczyć przed wezbraną wodą, mogącą – zdaniem projektantów – sięgać maksymalnie do wysokości 5,7 metra, okazał się za niski. W fazie projektowania tej elektrowni, przy ustalaniu wystarczającej wysokości muru ochronnego, kierowano się dotychczas nagromadzonymi wynikami oceny wysokości fal tsunami, które zdarzyły się w przeszłości.

Najwyższa fala, która dotarła do elektrowni 11 marca 2011 roku, osiągnęła wysokość ponad 14 metrów, zalała wnętrza jej budynków, zniszczyła awaryjne źródła prądu, unieruchomiła system chłodzenia i przerwała funkcjonowanie instrumentów kontrolujących reaktory [15].

Chłodzenia zostały także pozbawione baseny z wypalonymi prętami paliwowymi. Znajdująca się w nich woda, nieustannie podgrzewana, ulegała odparowaniu, co w krótkim czasie spowodowało obniżenie jej lustra poniżej zanurzonych prętów, których temperatura zaczęła niebezpiecznie wzrastać.

Eksplozje oraz pozostałe, groźne skutki przegrzania reaktorów i wypalonych prętów paliwowych w basenach, były odtąd tylko kwestią czasu.

Reaktory w EJ Fukushima Dai-ichi I mają tylko po jednym obiegu chłodniczym. Gdy zatrzymało się chłodzenie, doszło do odparowania znacznej ilości wody, wzrosła temperatura i ciśnienie w zbiornikach wody i instalacji chłodzącej, a para wodna wycisnęła wodę z wnętrza reaktorów, co groziło ich stopieniem.

Wzrost ciśnienia uruchomił automatyczną reakcję upuszczania radioaktywnej pary wodnej z instalacji chłodzącej do wnętrza obudów bezpieczeństwa reaktorów, a ponieważ wewnątrz nich ciśnienie w krótkim czasie przekroczyło dwukrotnie dopuszczalną wartość, wypuszczono tę parę sukcesywnie w sposób kontrolowany do atmosfery.

Wskutek stopienia prętów paliwowych i uszkodzenia ich koszulek cyrkonowych, pojawiły się we wnętrzu budynków reaktorów znaczne ilości wodoru, którego kolejne wybuchy zniszczyły 12 marca budynek reaktora I, 14 marca budynek reaktora III – w obu przypadkach bez naruszenia zbiorników reaktorów i ich obudów bezpieczeństwa, a 15 marca – w nieco mniejszym stopniu – budynek reaktora II. W pierwszych dniach po trzęsieniu doszło również do kilku pożarów w obiektach tej elektrowni, w tym także w przechowalnikach.

Ze względu na pojawienie się w powietrzu atmosferycznym znacznych ilości radionuklidów, zwłaszcza izotopu jodu ^{131}J, władze administracyjne zarządziły już w kilka godzin po awarii, ewakuację ludności, najpierw z 3 km strefy bezpośrednio przylegającej do EJ, potem w promieniu 20 km, a ostatecznie w strefie o szerokości 30 km. Wdrożono również szereg ostrych zarządzeń, którymi określono wymagania stawiane wodzie pitej, żyw-

ności, czystości radiacyjnej mieszkań i sfery publicznej.

W sumie, dla ponad 200 tysięcy mieszkańców, na długi czas zaistniały trudne warunki bytowania, niepewność jutra i znaczne ryzyko zdrowotne.

Od pierwszych dni awarii na terenie EJ Fukushima Dai-ichi I prowadzona jest akcja ratunkowa. Będzie ona musiała trwać jeszcze przez wiele dalszych lat, zanim opanowana zostanie sama awaria i usunięte zostaną jej groźne skutki.

Po 8 miesiącach od dnia katastrofy udało się schłodzić 3 reaktory do stanu zimnego wyłączenia, czyli do temperatur poniżej 100° C. Ukończono budowę stalowej osłony wokół budynku reaktora I, która – podobnie jak znany sarkofag nad IV reaktorem w Czarnobylu – ma zapobiec dalszej emisji materiału promieniotwórczego do atmosfery. Takie same osłony mają okryć 3 dalsze reaktory. Miną zapewne lata, zanim się uda wydobyć z reaktorów stopione pręty paliwowe i naprawić stopione rdzenie reaktorów. Poważnym i trudnym problemem pozostanie zadanie oczyszczenia ze skażeń promieniotwórczych ogromnej ilości wody, użytej do chłodzenia reaktorów oraz wypalonych prętów paliwowych w basenach – przechowalnikach. Wiele tysięcy metrów sześciennych wody użytej do schładzania, która dlatego sama stała się silnie radioaktywna, wypuszczono już do oceanu, a tylko jej część udało się przedtem poddać procedurze oczyszczenia ze składników radioaktywnych [16].

W okresie minionych miesięcy po trzęsieniu i fali tsunami wiele razy odnotowywano ponowne, gwałtowne wzrosty natężenia promieniowania, co tłumaczono zdarzaniem się nowych uszkodzeń rdzeni, względnie elementów paliwowych.

Planowane jest usunięcie z okolicznych terenów rolnych 5 cm warstwy ziemi (około 30 milionów m^3) skażonej izotopami promieniotwórczymi.

Wstępnie oszacowano, że koncern, który jest właścicielem EJ Fukushima Dai-ichi I, będzie musiał wypłacić poszkodowanym ponad 59 miliardów $ rekompensaty.

Co grozi ludności Fukushimy?

Uwolnione paliwo jądrowe i pochodne izotopy powstałe w wyniku rozszczepienia jąder izotopu ^{235}U są źródłem promieniowania jonizującego, o którym wiadomo, że może – wpływając z zewnątrz na organizm człowieka – w krótkim czasie po jego zadziałaniu, wywołać ostrą względnie przewlekłą chorobę popromienną, której pojawienie się i przebieg jest zależny od wielkości otrzymanej dawki promieniowania.

Mniejsze dawki nie muszą wywołać objawów klinicznych, ale mogą u wszystkich napromienionych zainicjować procesy nowotworowe o różnie długich okresach latencji – sięgających nawet 20 lat. U osób obojga płci – cechujących się wiekiem reprodukcyjnym – mogą wywołać istotne zmiany genetyczne w komórkach rozrodczych, których następstwa ujawnią się u potomstwa różnymi mutacjami, nie zawsze obojętnymi dla ich zdrowia i życia. W tym przypadku w grę wchodzi promieniowanie elektromagnetyczne gamma oraz promieniowanie cząstkowe beta.

Znacznie groźniejsza jest sytuacja w przypadku przedostania się izotopów promieniotwórczych do wnętrza organizmu, drogą oddechową – podczas normalnego oddychania, czy drogą pokarmową, wskutek spożycia skażonej żywności. Wówczas organizm te izotopy traktuje jak ich naturalne pierwiastki niepromieniujące. Zależnie od ich własności chemicznych, wchodzą one na szlaki metaboliczne, są wprowadzane do wnętrza komórek, są wbudowywane w swoiste białka, wnikają do łańcucha DNA – skąd w nieobliczalnych momentach emitują swoje promieniowanie falowe, promieniowanie cząstkowe beta, a także promieniowanie cząstkowe alfa. To ostatnie – działając z zewnątrz – nie stanowi zagrożenia dla zdrowia i życia, bo zrogowaciały naskórek jest wystarczającą osłoną przed nim. Jednakże z wnętrza komórki, działa ono z ogromną energią, przekraczającą często tysiące razy energię wiązania atomów w drobiny białek komórkowych i innych substancji biochemicznych. To doprowadza do pojawienia się wewnątrz komórek związków zmienionych, często toksycznych. Ostatecznie, wskutek takich różnorodnych ingerencji, następuje zwykle śmierć komórek.

Z powyższego wynika, że znacznie groźniejsze od napromienienia przez zewnętrzne źródło radioaktywne, jest wewnętrzne skażenie organizmu izotopami promieniotwórczymi. I to jest tym największym ryzykiem, które grozi nie tylko mieszkańcom prefektury Fukushimy, lecz także milionom mieszkańców bliskich i średnio odległych terenów.

W miastach i wsiach odległych o dziesiątki kilometrów od EJ Fukushima Dai-ichi stwierdzono obecność w powietrzu, glebie i wodzie, promieniotwórczych izotopów strontu, cezu, a nawet plutonu. Warzywa i owoce tam rosnące okazały się promieniotwórcze, bo skażona została ziemia i woda gruntowa. Rozmiar tego skażenia i jego znaczenie dla zdrowia nie został dotąd wystarczająco obiektywnie określony, niemniej nie ulega wątpliwości, że awaria w tej EJ zaciąży negatywnie na losach znacznej części obecnej ludności Japonii, i wielu następnych pokoleń.

A jakie jest nasze ryzyko zdrowotne?

W pierwszych kilkudziesięciu godzinach po awarii wypuszczano w powietrze atmosferyczne znaczne ilości pary, zawierającej ogromne ilości izotopu

jodu ^{131}J, cechującego się krótkim półokresem trwania – 8 dni.

Jako nadzwyczaj pozytywną okoliczność podano wówczas, że wiatr wiejący od lądu, wyniósł ten jod i inne izotopy nad bezkres oceanu i istotnie zmniejszył ryzyko wchłonięcia tego jodu przez tarczyce mieszkańców, zwłaszcza dzieci – Fukushimy i okolicy.

Niestety, prądy wiejące wysoko nad Pacyfikiem (tak zwane jet streamy) przeniosły te zanieczyszczenia nad zachodnie wybrzeża USA i tam izotop jodu ^{131}J wpłynął na poziom radioaktywności powietrza atmosferycznego, którym mieszkańcy Kalifornii i innych stanów zachodnich oddychają.

Również w Polsce, poczynając od 23 marca, powoli narastało średnie stężenie jodu ^{131}J z poziomu 0,07 mBq do 2,82 mBq na metr sześcienny powietrza odnotowanego w dniu 29 marca. Powróciło ono do wartości wyjściowych dopiero w połowie kwietnia [17]. Wprawdzie są to ilości śladowe, najpewniej bez znaczenia, niemniej nie można zapomnieć, że nawet najmniejsza ilość promieniowania jonizującego może zmodyfikować wystarczającą liczbę żywych komórek ludzkich i zmienić odległe losy całego organizmu.

Znamienne jest też to, że nasza Państwowa Agencja Atomowa opublikowała na ten temat kilka komunikatów, jednakże wszystkie zawierają wyłącznie stwierdzenia, że obecność tych zanieczyszczeń w naszym powietrzu nie ma znaczenia, że nikomu nic nie grozi, że nie potrzebna jest jakakolwiek akcja ogólna, w tym także akcja polegająca na prostej, lecz wyczerpującej informacji, o tym zdarzeniu, o jego obiektywnych cechach. Pojawił się nawet artykuł, w którym przypomniano, iż zgodnie z definicją „katastrofy przemysłowej" przyjętą przez ONZ, w odniesieniu do tego, co się zdarzyło w EJ Fukushima Dai-ichiymI, nie należy używać terminu – „katastrofa", ponieważ ten jest zastrzeżony tylko dla zdarzeń, w których nie mniej niż 6 osób utraciło życie [18].

Poza jodem, który jest nadal obecny, choć jego aktywność promieniotwórcza zmniejszyła się praktycznie do zera, nad znaczne obszary globu, a przede wszystkim do wód oceanów i mórz dostały się też pewne ilości izotopów cezu, strontu i plutonu, Weszły one do łańcucha pokarmowego: wchłonięte przez plankton, skażą łowione ryby, a te – prędzej czy później – trafią również na nasze stoły.

Kilka gatunków ryb oferowanych po najniższych cenach w naszych marketach pochodzi z krajów azjatyckich. Po awarii w Fukushimie mogą być w większym stopniu skażone, niż przedtem.

Nie ma obecnie podstaw, by mówić o realnym zagrożeniu zdrowia kogoś w Polsce, jednakże takich zdarzeń nie należy świadomie lekceważyć.

Refleksje końcowe

Nie ulega kwestii, że bezpośrednim powodem tej katastrofy było trzęsienie ziemi i przez nie wywołana fala tsunami. Pierwotnym jej powodem był jednakże, jeszcze raz, elementarny błąd ludzki.

Taka była przyczyna pierwszej w ogóle, bardzo groźnej awarii radiacyjnej w USA, która zdarzyła się 28 marca 1979 r. w elektrowni jądrowej Three Miles Island. Tam pracownicy doprowadzili do stopienia rdzenia reaktora typu PWR. Na szczęście, wówczas obyło się bez ofiar.

Tak było również w elektrowni w Czarnobylu, w której nierozważne decyzje ludzi, podjęte 26 kwietnia 1986 roku, doprowadziły do wybuchu, który rozniósł cały blok IV reaktora typu RBMK (Reaktor Bolszoj Moszcznosti Kanalnyj – Reaktor Kanałowy Wielkiej Mocy).

W Fukushimie błąd polegał na przyjęciu złych założeń, wskutek braku dostatecznej wyobraźni projektantów, o możliwej wysokości potencjalnej fali tsunami. Błędem było też nie wyprowadzenie odpowiedniego wniosku z powszechnie dostępnej wiedzy o tsunami, które w 2004 roku spustoszyło nadmorskie tereny Indonezji. To ostatnie doświadczenie winno było spowodować podjęcie decyzji o podwyższeniu muru ochronnego, który zabezpieczał EJ w Fukushimie, przed zalaniem wodą, znacznie powyżej 5,7 m. Na to wskazywały właściwości tsunami w Indonezji

Zdarzenie się w XXI wieku awarii radiacyjnej o wielkości odpowiadającej katastrofie w Czarnobylu, wprawdzie spowodowanej przez siły natury, lecz umożliwionej przez błędne decyzje człowieka – popełnione w kraju o wysokim poziomie powszechnego szkolnictwa, wysokiej jakości akademickiej edukacji technicznej, znanym z obywatelskiej i społecznej odpowiedzialności, cechującym się wysoką kulturą pracy, oraz bezwzględną dyscypliną techniczną, zmusza wręcz do głębokiego zastanowienia się nad poziomem bezpieczeństwa, sensem istnienia i dalszym rozwojem energetyki jądrowej w świecie, oraz nad koniecznością podjęcia budowy takiej elektrowni w naszym kraju.

Wiedząc o niezerowym prawdopodobieństwie powtórzenia się podobnej awarii, należałoby spokojnie rozważyć, czy nam, jako zbiorowości, można przypisać charakterystykę Japończyków, a naszemu państwu – taką jakość, sprawność i skuteczność zarządzania krajem, jaka cechuje Japonię, jako państwo?

Spróbujmy też ocenić, biorąc pod uwagę wszystko to, co wiemy o sobie, jako indywiduach i zbiorowości, jak duże może być prawdopodobieństwo zdarzenia się nam ludzkiego błędu, na etapie pierwszych decyzji o podjęciu budowy elektrowni jądrowej, podczas faz projektowania różnych jej składowych,

w trakcie realizacji jej budowy, w czasie jej rozruchu, a potem w ciągu wielodziesięcioletniej eksploatacji gotowego obiektu. Jakie by ono było? Większe, takie same, albo mniejsze – niż w Japonii?

Istota energetyki jądrowej jest skojarzona z coraz śmielej realizowanym dążeniem naszej cywilizacji, nie tylko do ostatecznego poznania sił, zjawisk i mechanizmów, które zapoczątkowały powstanie wszechświata i nadal działają we wnętrzu gwiazd, zapewniając im ich energię, nieskończony żar i niemal wieczyste istnienie, lecz do ich doraźnego, zbyt egoistycznego wykorzystania.

Dotychczasowy rozwój intelektualny człowieka, który w okresie ostatnich 100 lat doznał skokowej akceleracji, na to już pozwala. Ale równocześnie pojawiają się coraz liczniejsze głosy, mówiące o tym, że pod względem moralno-etycznym współczesny człowiek w swojej masie jest niedorozwinięty, niedojrzały, że nasz moralno-etyczny rozwój jest opóźniony, co można uznać za przykrą, a nawet niebezpieczną niedoróbkę ewolucji. Dlatego ten potężny intelekt w dążeniu do poznania wszystkiego, za łatwo omija konieczne bariery moralno-etyczne, bez których uwzględnienia nic człowieka nie chroni przed obraniem drogi ku własnej zagładzie.

Pierwszy reaktor jądrowy uruchomił Enrico Fermi w Chicago dnia 2 grudnia 1942 roku. Był on osiągnięciem nieskończonego dążenia naukowców do odkrycia i poznania tego, co jest, jest nieznane, nie rozpoznane [18].

Bezpośrednio potem oparto się na tej wiedzy, by – nie dla dobra człowieka, a dla zrealizowania wizji pozbawienia w ciągu kilku sekund kilkudziesięciu tysięcy istnień ludzkich życia – zbudować bombę atomową, pierwszą w historii ludzkości.

I w 1945 roku się to wspaniale udało: Hiroshima i Nagasaki legły w gruzach, a ich mieszkańcy – spłonęli, wyparowali, doświadczyli czegoś bardzo nowego.

Dekadę lat później zbudowano pierwszą elektrownię jądrową, nie dlatego, że gdzieś było ciemno, albo komuś było zimno. I obecnie istnieje kilkadziesiąt tysięcy głowic nuklearnych, wystarczająco dużo, by zniszczyć wszystko i wszystkich, na tym globie.

Z jednej strony, obecne osiągnięcia techniczne wprawiają nas, współczesnych w osłupienie. Z drugiej – gdy się popatrzy na dążenie uczonych do poznania ostatniej tajemnicy, wprawdzie, jak zwykle na początku z argumentem: aby wiedzieć, jak było, co to jest, czym to jest, lecz w końcu, by tę wiedzę wykorzystać, najczęściej – co potwierdzają podane wyżej przykłady – w celu zgubnym dla człowieka, ogarnia nas, myślących o losie własnych wnuków i przyszłości następnych pokoleń ludzkich, smutek i przerażenie.

Na koniec uzasadnione wydaje się zwrócenie uwagi na fakt istnienia w dziedzinie atomistyki potężnych sił lobbystycznych, działających w określonych interesach, na wszystkich obszarach mających z tą dziedziną jakiś związek. W grę wchodzą instytucje i korporacje naukowe, koncerny przemysłowe, oraz instytucje i gremia wojskowe.

Mogłoby się wydawać, że ludzie nauki mają zawsze na względzie tylko dobro ogółu, dobro człowieka, i to nie wyłącznie tego żyjącego dzisiaj. Tak byłoby, gdyby grupę tę cechował głęboki humanizm, nieegoistyczne dążenie poznawcze, niezachwiana i na zawsze uświadomiona odpowiedzialność, za własne czyny i działania, i to nie tylko wobec instytucji nadrzędnych, kontrolnych, finansujących, lecz wobec przyszłych pokoleń. Tak jednak nie jest. Zbyt wielu dąży do realizacji własnych celów naukowych, bez uwzględnienia ich wielorakich konsekwencji dla ogółu, dla dziś i dla jutra. Znakomici ojcowie bomb atomowych, po poznaniu ich konsekwencji, doznali przerażenia i wyrazili najszczerszą skruchę, za późno.

Nie może też budzić wątpliwości stwierdzenie, że budowa elektrowni jądrowych jest ogromnym, mamutowym interesem wielu koncernów przemysłowych, których nadrzędnym motywem istnienia i działania jest osiąganie maksymalnej rentowności. Planowanie, projektowanie i budowa konkretnego obiektu, to zadania na dekadę lat. Czy można sobie wobec tego wyobrazić, że awaria którejkolwiek elektrowni wstrzyma ten cały interes, bo uświadomi ona ludziom ogrom ryzyka skojarzonego z istnieniem takich obiektów?

A czy sfera wojskowa nie polubiła arsenału jądrowego? Wszak jest on czynnikiem generującym osobiste i zbiorowe korzyści, zwiększającym prestiż zawodowy, uzasadniającym wyjątkowe miejsce w hierarchii społecznej.

Można zatem przyjąć, że istnieje znacząca liczba instytucji i osób zainteresowanych rozwojem możliwości użycia wiedzy z zakresu fizyki jądrowej, dla realizacji własnych celów, co z kolei zakłada, że opinia publiczna zachowa spokój oparty w istocie na niewiedzy na temat złożoności i wielkości ryzyka związanego z energetyką jądrową. Tę świadomość powinniśmy sobie odświeżyć w każdym przypadku, gdy do nas trafią oficjalne komunikaty i informacje dotyczące zdarzeń radiacyjnych, a zwłaszcza, gdy monotonnie będą pouczać i uspokajać, że takie awarie są dla nas bez znaczenia.

Wykaz piśmiennictwa

1. The 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. Dostępne: http://jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake.
2. Sejsmologia – Trzęsienia ziemi na podstawie amplitudy drgań wstrząsów sejsmicznych, wprowadzona w Charlesa F. Richtera. Dostępne: http//zgapa.pl/zgapedia/Skala_Richtera

3. Japan earthquake accelerated Earth's rotation. Dostępne: http//signpostsofthetimes.blogspot.com/.../japan-earthq...
4. Najsilniejsze trzęsienia ziemi w historii. Dostępne: http//pl.wikipedia.org/wiki/Najsilniejsze_trzęsienia_ziemi_w_historii.
5. International Nuclear Event Scale (INES),International Atomic Energy Agency. Dostępne: www-ns.iaea.org/tech-areas/ /emergency/ines.asp.
6. Radionuclides Released into the Air from Fukushima I Nuke Plant, by NISA. Dostępne: http//ex-skf.blog spot.com/.../radionuclides-released-int.
7. Pluton (pierwiastek), Wikipedia – wolna encyklopedia. Dostępne: http://pl.wikipedia.org/wiki/Pluton_ (pierwiastek).
8. Uran (pierwiastek), z Wikipedii – wolnej encyklopedii. Dostępne: http//pl.wikipedia.org/Wiki/Uran_(pierwiastek)
9. Paliwo jądrowe, z Wikipedii – wolnej encyklopedii. Dostępne: http://pl.wikipedia.org/wiki/Paliwo_j%C4%85drowe.
10. Glenn Seaborg is best known for discovering the element plutonium. Dostępne: http//www.atomicarchive.com › Library › Biographies.
11. Paliwo świeże i przerób paliwa wypalonego. Dostepne: www.atom.edu.pl/index.php/.../produkcja-paliwa-i-recyklizacja.html.
12. Elektrownie jądrowe na świecie i wokół Polski. Dostepne: http//elektrownia-jadrowa.pl/Elektrownie-jadrowe-na-swiecie-i-wokol-Pols...
13. Mapa rozmieszczenia elektrowni jądrowych na świecie. Dostępne: http//gisplay.pl/.../1724-mapa-rozmieszczenia-elektrowni-jadrowych-na-s.
14. Jurkowski M. Komentarz o okolicznościach i skutkach elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi. Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, 1(83)2011, str. 3-9.
15. Tepco details tsunami damage, wawes that hit Fukushima plant. Dostępne: http//www.yomiuri.co.jp › Home › National.
16. Fukushima Update | Tracking Japan's nuclear crisis. Dostępne: http//fukushima.greenaction-japan.org/
17. Komunikat specjalny Państwowej Agencji Atomowej z dnia 30 III 2011 r. Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, 1(83)2011, str. 16-17.
18. Energetyka Jądrowa. Trzęsienie Ziemi w Japonii – awaria w elektrowni Fukushima. Dostępne: http//atom. edu.pl/index.php/aktusalnosci/128-aktualnosci.

Adres do korespondencji:
Prof. dr hab. n. med. Jan Grzesik
Instytut Medycyny Pracy i Zdrowia Środowiskowego
41-200 Sosnowiec, ul. Kościelna 13
tel. 32 266 08 85, fax 32 266 11 24
j.grzesik@imp.sosnowiec.pl
jan.grzesik@w.pl