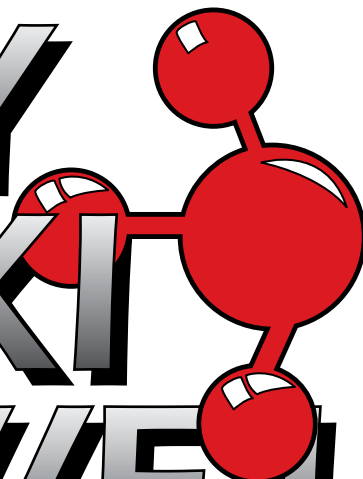


POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ



VOL. 58 Z.4 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2012

1982-2012

30-lecie
Państwowej
Agencji
Atomistyki

Flagowy budynek
Instytutu Chemii
i Techniki Jądrowej
- późną jesienią

4-2012

INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

OD REDAKCJI 1
STANISŁAW LATEK

**WYWIAD Z PEŁNOMOCNIK RZĄDU
DS. POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ -
HANNA TROJANOWSKĄ 2**

**30 LAT PAA, CZYLI HISTORIA
DOZORU JĄDROWEGO W POLSCE 5**
STANISŁAW LATEK

**PROGNOZOWANIE I DIAGNOZOWANIE
STARZENIA KABLI W ELEKTROWNIACH
JĄDROWYCH 7**
JACEK BOGUSKI, GRAŻYNA PRZYBYTNIK

PO TRZĘSIENIU ZIEMI I TSUNAMI 15
KRZYSZTOF RZYMKOWSKI

**PROFESOR SUEO MACHI O SYTUACJI
W JAPONII PÓŁTORA ROKU
PO AWARII W FUKUSHIMIE 23**
STANISŁAW LATEK

**KONSTRUKTOR BRONI JĄDROWEJ -
ZAWÓD NIEBEZPIECZNY? 26**
ZBIGNIEW P. ZAGÓRSKI

**WYBRANE ZAGADNIENIA Z METOD
OCENY BEZPIECZEŃSTWA W TYM
EWALUACJA NAJLEPSZEGO
SZACOWANIA I NIEPEWNOŚCI (BEPU),
KODY ZINTEGROWANE
I SPRZĘŻONE 28**
ERNEST STAROŃ

**KOLEKCJONOWANIE MINERAŁÓW
ZAWIERAJĄCYCH NATURALNE
RADIONUKLIDY W ŚWIELE
POLSKIEGO PRAWA 33**
TADEUSZ DZIUBIAK

**OD INSTYTUTU RADOWEGO
W WARSZAWIE DO WSPÓŁCZESNYCH
ZASTOSOWAŃ TECHNOLOGII
RADIACYJNYCH 36**
WOJCIECH GŁUSZEWSKI

DONIESIENIA Z KRAJU 44



Kwartalnik naukowo-informacyjny

Postępy Techniki Jądrowej
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
03-195 Warszawa, ul. Dorodna 16

Kontakt Telefoniczny:

Tel. 22-504-12-48

Fax.: 22 811-15-32

Redaktor naczelny:

Stanisław Latek

S.Latek@ichtj.waw.pl

Komitety redakcyjny:

Wojciech Głuszewski

Maria Kowalska

Łukasz Kuźniarski

Andrzej Mikulski

Marek Rabiński

Edward Rurarz

Elżbieta Zalewska

Redakcja:

PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

Opracowanie graficzne:

Agnieszka Milewska (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.

Prenumerata

Zamówienia na prenumeratę kwartalnika

POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

należy składać na adres redakcji jak wyżej.

Wpłaty proszę przekazać na konto:

Bank Pekao SA,

45 1240 3480 1111 0000 4278 2935

Koszt prenumeraty rocznej

(4 zeszyty łącznie z kosztami przesyłki) wynosi 50 zł.

Składając zamówienie należy

podać adres osoby lub instytucji

zamawiającej, na który ma być przesłane

czasopismo oraz numer NIP.

Wydawca:

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

Skład i druk:

Agencja Reklamowa TOP,

ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek

Szanowni Państwo,

Piszę te słowa w pierwszych dniach grudnia. Mam nadzieję, że nasi Czytelnicy będą mogli przeczytać je jeszcze w tym roku. Właśnie: koniec roku to dobra okazja do podsumowania, do sporządzania bilansu. W przypadku dziedziny, którą zajmujemy się na łamach naszego czasopisma wcale nie łatwo sporządzić taki bilans. Z jednej strony są niewątpliwe sukcesy, choćby takie, jak eksperymentalne potwierdzenie istnienia bozonu Higgsa i wybór polskiej uczoniej na funkcję przewodniczącej Rady CERN-u, czy - w innej skali - otwarcie w IChTJ Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej na potrzeby energetyki jądrowej i medycyny nuklearnej, ale z drugiej - w mijającym roku mogliśmy obserwować dość niepokojący impas w dziedzinie przygotowania do realizacji polskiego programu energetyki jądrowej. Co prawda wydarzenia w elektrowni jądrowej Fukushima I nie zmieniły zamierzeń rządu polskiego w zakresie budowy elektrowni jądrowych, ale spowodowały jednak obniżenie poparcia społecznego dla budowy EJ w Polsce i pojawienie się opinii, że do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego wystarczy zracjonalizowanie użytkowania energii, szersze wykorzystanie źródeł odnawialnych i perspektywa wykorzystania rodzimych zasobów gazu łupkowego.

Wymienione i inne czynniki spowodowały reakcję środowisk i organizacji, którym zależy na wprowadzeniu w Polsce energetyki jądrowej. Przedstawiciele tych środowisk przygotowali i przesłali do premiera memorandum w sprawie energetyki jądrowej. W dokumencie tym, opublikowanym w poprzednim zeszycie PTJ prezesi SEREN-u, SEP-u, PTN i NOT-u stwierdzili, że „obecna polityka rządu nie odpowiada randze i znaczeniu energetyki jądrowej dla przyszłości zaopatrzenia Polski w energię elektryczną. Nie widać też zaangażowania i wsparcia ze strony organów politycznych...”

W zaistniałej sytuacji redakcja PTJ przygotowała kilka pytań, które zostały przekazane Hannie Trojanowskiej, pełnomocnikowi rządu ds. polskiej energetyki jądrowej z prośbą o odpowiedź. Pytania dotyczyły m.in. rzekomego, wzajemnego wykluczania się projektu łupkowego i atomowego, efektów kampanii informacyjno-edukacyjnej „Poznaj Atom”, obecnych i najbliższych najważniejszych zadań urzędu pełnomocnik w zakresie PPEJ i oceny wspomnianego wyżej memorandum.

Z wielką satysfakcją informuję wszystkich Czytelników, że Pani Minister odpowiedziała na pytania redakcji. Bardzo zachęcam do lektury tego ważnego wywiadu opublikowanego na łamach niniejszego numeru PTJ.

Kolejny tekst dotyczy jubileuszu Państwowej Agencji Atomistyki. Otóż w tym roku mija 30 lat od utworzenia tej ważnej i szacownej instytucji. Ustawa o utworzeniu PAA weszła w życie z dniem 27 lutego 1982 r. Była to decyzja powiązana z uchwałą Rady Ministrów z dnia 18 stycznia tego samego roku o budowie pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. W anonsowanym tekście znajdują Państwo trochę informacji o historii PAA od momentu jej utworzenia aż do chwili obecnej.

Ciekawy artykuł przygotował zespół autorów: Jacek Boguski, Grażyna Przybytniak z IChTJ. Tytuł artykułu: „Prognozowanie i diagnozowanie starzenia kabli w elektrowniach jądrowych”. Autorzy słusznie zauważają, że przewody i kable są istotnym i ważnym elementem wszystkich elektrowni jądrowych, gdyż stanowią integralną część ich systemu sterowania i bezpieczeństwa. Szacuje się, że w elektrowni

jądrowej w otoczeniu jednego reaktora zainstalowanych jest ok. 1000 km różnego typu kabli. Aktualne wymogi bezpieczeństwa, jak również wysokie koszty operacji, nie pozwalają na wymianę kabli w czasie eksploatacji EJ przewidywanej obecnie na 40 - 60 lat. Dlatego przy projektowaniu EJ muszą być uwzględnione czynniki środowiskowe na jakie narażone będą przewody elektryczne w czasie tak długiej eksploatacji, jak również wszystkie możliwe nagłe niekorzystne zmiany warunków pracy będące skutkiem ewentualnych awarii.

Mimo, że od awarii w Fukushima mija już blisko dwa lata wciąż jest ona omawiana i analizowana, zwłaszcza jej konsekwencje dla Japonii i dla rozwoju energetyki jądrowej na świecie. Pozwalam sobie więc z satysfakcją zarekomendować lekturę artykułu napisanego przez naszego współpracownika, znaną japońską energetykę jądrową i aktualnie redaktora naczelnego internetowego czasopisma EKOATOM dr. Krzysztofa Rzymkowskiego. Tytuł artykułu: „Po trzęsieniu ziemi i tsunami”. Uzupełnieniem tego tekstu jest omówienie (przez niżej podpisanego) ciekawej prezentacji prof. Sueo Machi. Prof. Sueo Machi, znany japoński ekspert z zakresu technologii i energetyki jądrowej, były dyrektor Japońskiego Instytutu Badań nad Energią Atomową (JAERI), wieloletni wicedyrektor Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, członek Japońskiej Agencji Energii Atomowej oraz członek honorowy Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego podczas ostatniego pobytu w Polsce w październiku br wygłosił kilka referatów na temat kierunków zmian w energetyce jądrowej oraz szerzej o tym czego nauczyła nas awaria w Fukushima. Ciekawe artykuły publikują na naszych łamach Z. P. Zagórski, E. Staroń i T. Dziubiak. Dr Ernest Staroń przedstawia zagadnienia, które pojawiają się na naszych łamach być może po raz pierwszy. Artykuł dotyczy metod oceny bezpieczeństwa, w tym tzw. BEPU, czyli „Best Estimate Plus Uncertainty” (najlepsze szacowanie i ocena niepewności). Obliczenia numeryczne z zastosowaniem tego podejścia dostarcza realistycznego opisu zachowania reaktora i identyfikuje najbardziej istotne zagrożenia bezpieczeństwa. Pozwala też na lepszą ocenę marginesów bezpieczeństwa gdy marginesy te nie są duże. Do historii Instytutu Radowego nawiązuje tekst Wojciecha Głuszewskiego.

Jak zawsze, druga, trochę mniej obszerna część czasopisma, zawiera krótsze doniesienia. Tym razem autorami większości doniesień są nasi stali współpracownicy: Małgorzata Sobieszczak-Marciniak i Wojciech Głuszewski. Dla piszącego te słowa do najciekawszych należą informacje o niedawnym Międzynarodowym Forum Energetyki Jądrowej oraz o wizycie prezydentów Francji i Polski François Hollande’a i Bronisława Komorowskiego w laboratorium fizycznym Centrum Nauki KOPERNIK.

Warto zapoznać się także z komunikatem organizatorów przyszłorocznej konferencji MAĐRALIN 2013.

Wszystkim naszym Czytelnikom i Przyjaciółom życzę udanego wypoczynku w czasie Świąt Bożego Narodzenia i wielo sukcesów w Nowym Roku. I życzym sobie nawzajem aby - jak co roku - Boże Narodzenie i przełom roku były dla nas wszystkich źródłem mądrości, potrzebnej do szukania dobra, źródłem nadziei na jego znalezienie i źródłem siły potrzebnej do realizacji dobrych zamierzeń i postanowień.

Redaktor Naczelny
Stanisław Latek

WYWIAD Z PEŁNOMOCNIK RZĄDU DS. POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ - HANNA TROJANOWSKĄ

Redakcja PTJ: pod koniec października w polskich mediach pojawiły się dość sensacyjne doniesienia o tym, że „projekt łupkowy i atomowy wzajemnie się wykluczają”. Zarówno Pan Premier, jak i Pani Minister zgodnie oświadczyli w krótkich wypowiedziach, że dla rządu energetyka jądrowa i łupki to priorytety, że jest miejsce dla atomu i gazu łupkowego. Czy można prosić Panią Minister o podanie argumentów uzasadniających to stanowisko rządu.

Minister Hanna Trojanowska: Polska potrzebuje zdyswersyfikowanego mixu paliwowego. Tylko taki gwarantuje nam bezpieczeństwo energetyczne i stabilność cen energii. Według naszych szacunków, rozwój gospodarczy Polski pociągnie za sobą w perspektywie 20 lat wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną do ok. 170 TWh rocznie. Oznacza to, że należy zwiększyć jej produkcję aż o 38 proc.

Aby produkować więcej energii i równocześnie wywiązać się z unijnych zobowiązań dotyczących redukcji emisji CO₂, musimy stawiać na bardziej wydajne i czyste źródła. Takie właśnie są budowane dziś, praktycznie bezemisyjne siłownie jądrowe. 6 tys. MW zainstalowanej mocy w 4–6 blokach jądrowych oznacza możliwość uniknięcia emisji ok. 47 mln ton CO₂ rocznie, w porównaniu do technologii wykorzystujących węgiel.

Dzięki rodzimym złożom gazu łupkowego, możemy natomiast istotnie zredukować naszą zależność od importu tego surowca i osiągnąć wyższy poziom bezpieczeństwa energetycznego przez dywersyfikację źródeł dostaw.

Moim zdaniem jednak, jeśli uruchomione zostanie wydobywanie gazu ze złóż łupkowych w Polsce, to jego strumień powinien zostać skierowany przede wszystkim jako surowiec do przemysłu chemicznego i celów ciepłowniczych. Natomiast dużym marnotrawstwem byłoby budowanie w oparciu o ten surowiec elektrowni gazowych i spalanie go tam do produkcji energii elektrycznej.

Doceniam oczywiście walory regulacyjne i interwencyjne źródeł gazowych, ale w podstawie obciążenia

możemy sięgnąć po bardziej atrakcyjną cenowo alternatywę, jaką jest atom. Elektrownie gazowe dodatkowo emitują, zaledwie o 30 proc. mniej CO₂ niż dominujące obecnie w Polsce elektrownie opalane węglem.

- Minister Skarbu Mikołaj Budzanowski oświadczył w Sejmie, że „co do energetyki jądrowej, to ostateczna decyzja zostanie podjęta, gdy będziemy mieli raport środowiskowy i zostanie wydana decyzja środowiskowa, co do lokalizacji. Nie można się tego spodziewać wcześniej niż na przełomie 2014/2015”. Jakie są obecnie i w najbliższych dwóch latach - poza lokalizacją - najważniejsze zadania urzędu (i PGE) w zakresie PPEJ?

Pełnomocnik Rządu ds. Polskiej Energetyki Jądrowej jako organ wdrażający energetykę jądrową, realizuje nadal swoje zadania opisane w projekcie programu, zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej.

Sfinalizowaliśmy już pierwszy etap przygotowań. Stworzyliśmy nowoczesną legislację i zasady funkcjonowania instytucji jądrowych w Polsce, co otwiera inwestorowi drogę do realizacji kolejnej fazy projektu. Z ustawy inwestycyjnej jasno wynika, że po tym, jak inwestor wykona ową gigantyczną pracę potrzebną do ostatecznego wyboru lokalizacji, wyboru technologii jądrowej, utworzenia konsorcjum realizującego inwestycję i zapewnienia finansowania przedsięwzięcia, ostatecznie to rząd da zielone światło do fizycznego rozpoczęcia budowy elektrowni jądrowej.

Obecnie, we współpracy z Państwową Agencją Atomistyki, koordynujemy prace nad dwudziestoma trzema rozporządzeniami do znowelizowanej ustawy Prawo atomowe. Większość z nich weszła już w życie, w tym wszystkie konieczne do rozpoczęcia inwestycji, a kilka ostatnich znajdujących się w końcowej fazie procedury legislacyjnej zyska moc obowiązującą do końca 2012 r.

Ministerstwo Gospodarki w dalszym ciągu prowadzi działania wspierające wysiłki inwestora na rzecz



Fot. 1. Hanna Trojanowska, wiceminister gospodarki, pełnomocnik rządu do spraw polskiej energetyki jądrowej

rozwoju zaplecza naukowego i kadrowego dla sektora jądrowego oraz pozyskiwania akceptacji społecznej. Kontynuujemy także prace nad Krajowym planem postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym. Zapewnione zostało finansowanie z NFOŚ oraz rozpoczęto procedury związane ze znalezieniem lokalizacji dla składowiska nisko- i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych. Finalizujemy ponadto konsultacje transgraniczne Prognozy Oddziaływania na Środowisko PPEJ. Po ich zakończeniu program będzie mógł zostać przyjęty przez Radę Ministrów.

Wdrażanie tak skomplikowanych przedsięwzięć, jak przewidziane w PPEJ zakłada filozofię etapową. Wiele działań ma dość odległy horyzont czasowy i będą kontynuowane także w trakcie budowy i eksploatacji elektrowni jądrowych.

- Jak Pani Minister ocenia efekty kampanii informacyjno-edukacyjnej „Poznaj atom”? Trwa ona już ponad siedem miesięcy i ma zakończyć się za półtora roku. Czy kampania wpłynie na postawy Polaków wobec energetyki jądrowej?

Uruchomienie projektów jądrowych powinna poprzedzać szeroka debata społeczna na ten temat. Na administracji rządowej spoczywa obowiązek dostar-

czenia obywatelom rzetelnych informacji, na podstawie których będą mogli wyrobić sobie zdanie na temat energetyki jądrowej.

Jestem zdania, iż w celu upowszechniania wiedzy na tak trudne i często kontrowersyjne tematy jak te związane z wprowadzaniem energetyki jądrowej, konieczne jest prowadzenie dialogu ze społeczeństwem. Temu celowi też służy nasza kampania Poznaj atom. Porozmawiajmy o Polsce z energią. Zależy nam na tym, aby kampania miała charakter żywego dialogu ze społeczeństwem, aby możliwe stało się poznanie obaw Polaków.

Aż 94 proc. Polaków deklaruje, że chce dowiedzieć się więcej o energetyce jądrowej i oczekuje działań informacyjnych od rządu. W kraju, w którym praktycznie od 20 lat nie podejmowano większych aktywności informacyjnych w tym zakresie jest to konieczne. W naszych działaniach korzystamy ze wsparcia najlepszych krajowych ekspertów i naukowców. Jestem przekonana, że pomogą one Polakom poszerzyć wiedzę na temat energetyki jądrowej.

- Minęło już ponad półtora roku od awarii w Fukushima. Spowodowała ona w konsekwencji m.in. unieruchomienie większości japońskich elektrowni jądrowych i zmianę polityki Niemiec wobec wykorzystania tej opcji energetycznej, z drugiej jednak strony są oznaki ponownego renesansu energetyki jądrowej. Prognozy opublikowane niedawno przez MAEA też na to wskazują. Czy Fukushima ma jakieś znaczenie dla realizacji Polskiego Programu Energetyki Jądrowej?

Oczywiście. Podobnie jak wszystkie kraje realizujące programy jądrowe, my także staramy się wyciągnąć jak najwięcej wniosków z lekcji jaką była awaria w Fukushi-





mie. Już dziś wprowadzamy rozwiązania, które zagwarantują, że cały cykl życiowy elektrowni jądrowej będzie realizowany jedynie w warunkach niezagrożających zdrowiu i życiu ludzkiemu oraz środowisku naturalnemu.

Przygotowaliśmy nowoczesne prawo, restrykcyjnie określające warunki bezpiecznej eksploatacji obiektów jądrowych i ochrony radiologicznej. Przepisy znowelizowanej ustawy Prawo atomowe opracowane przez Ministerstwo Gospodarki i Państwową Agencję Atomistyki weszły w życie już na 4 lata przed planowanym rozpoczęciem budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. Powstały one w zgodzie z normami prawa międzynarodowego i europejskiego, uwzględniając zalecenia Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej i Agencji Energetyki Jądrowej OECD. Braliśmy pod uwagę także doświadczenia operatorów elektrowni jądrowych na świecie oraz wnioski z analizy najlepszych technicznych i prawnych rozwiązań i praktyk w zakresie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w poszczególnych krajach wykorzystujących energetykę jądrową.

Opracowana została także koncepcja funkcjonowania Państwowej Agencji Atomistyki jako urzędu dozoru jądrowego. Określa ona niezbędne do wprowadzenia zmiany legislacyjne, organizacyjne i funkcjonalne. PAA w 2011 r. rozpoczęła zmianę struktury organizacyjnej i budowę potrzebnych kompetencji, dostosowując się do potrzeb zadań związanych z rozwojem w Polsce energetyki jądrowej. W tym zakresie także wdrażamy standardy zalecane przez MAEA i stowarzyszenia dozorów jądrowych z całego świata.

Z uwagą śledzimy także przeprowadzane z inicjatywy Komisji Europejskiej „stress testy”, którym poddały się pracujące elektrownie jądrowe w całej UE.

- Prezesi kilku organizacji i stowarzyszeń zainteresowanych rozwojem energetyki jądrowej w Polsce wystosowali niedawno do Premiera RP specjalne memorandum w tej sprawie. Autorzy memorandum domagają się nadania budowie elektrowni jądrowej odpowiedniej rangi państwowej, politycznej i społecznej. Czy, zdaniem Pani Minister apel szefów SEP-u, NOT-u, PTN-u i SEREN-u jest uzasadniony?

Wydaje mi się, że podjęte dotychczas przez rząd działania oraz deklaracje premiera Donalda Tuska wyraźnie pokazują, jak ważnym dla polskiej gospodarki i rozwoju cywilizacyjnego kraju jest program jądrowy. Tego typu inicjatywy, podejmowane przez tak szacowne i zasłużone dla polskiej energetyki organizacje, odbieram jako wyraz poparcia dla naszych działań i zapewnienie o ich wsparciu dla tego niezwykle ważnego przedsięwzięcia. Za pośrednictwem Państwa tytułu „Postępów Techniki Jądrowej” bardzo, za to wsparcie dziękuję.

Wywiad przeprowadził Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Zdjęcia wykonano
w Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej.

30 LAT PAA, CZYLI HISTORIA DOZORU JĄDROWEGO W POLSCE

Stanisław Latek

27 lutego 1982 r. utworzona została Państwowa Agencja Atomistyki. (Dz.U. 1982 nr 7 poz. 64 Ustawa z dnia 27 lutego 1982 r. o utworzeniu Państwowej Agencji Atomistyki).

Była to decyzja powiązana z uchwałą Rady Ministrów z dnia 18 stycznia tego samego roku co o budowie pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce. Czy historia PAA jest równoznaczna z historią polskiego dozoru jądrowego? Na tak postawione pytanie nie łatwo odpowiedzieć. Trzeba bowiem wiedzieć, że nadzór państwa polskiego nad działalnościami związanymi ze źródłami promieniowania jonizującego trwa dłużej niż 30 lat. Już w drugiej połowie lat 50. ubiegłego wieku wydano szereg przepisów i wytycznych dotyczących ochrony radiologicznej podczas wytwarzania, wykorzystywania i transportu izotopowych źródeł promieniotwórczych, postępowania z odpadami promieniotwórczymi i obsługiwaniami urządzeń zawierających źródła promieniotwórcze lub wytwarzających promieniowanie jonizujące. Funkcjonowały także urzędy zajmujące się problematyką atomową: Pełnomocnik Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej (powołanie 1955), Urząd Energii Atomowej (powołanie 1968), Ministerstwo Energetyki i Energii Atomowej (powołanie 1974).

Warto również zauważyć, że początkowo zagadnienia bezpieczeństwa jądrowego - tak jak je współcześnie rozumiemy - nie były analizowane ani - tym bardziej - w pełni objęte stosownymi regulacjami, które ograniczały się do reaktorów badawczych. Do roku 1986 nadzór nad zastosowaniami energii jądrowej w Polsce sprawowało Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) oraz Ministerstwo Zdrowia.

Historia współczesnego dozoru jądrowego w Polsce sięga początku lat 80. dwudziestego wieku. Po podjęciu przez rząd w roku 1982 wspomnianej decyzji o budowie w Polsce pierwszej elektrowni jądrowej, Prezes Państwowej Agencji Atomistyki ustanowił swojego pełnomocnika do spraw bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Jego głównym zadaniem było przygotowanie zasad i przepisów dotyczących procesu wydawania zezwoleń na budowę i funkcjonowanie elektrowni jądrowych.

W kolejnych latach podjęto prace nad opracowaniem ustawy - Prawo atomowe, a w CLOR ustanowiono grupę specjalistów, której zadaniem było zajmowanie się problematyką dozorową. W projektach Prawa atomowego uwzględniono zalecenia zawarte w dokumencie Nuclear Safety Standards opracowanym przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA).

Ustawa z dnia 10 kwietnia 1986 r. - Prawo atomowe zawierała jednoznaczny wymóg ustanowienia dozoru jądrowego, odpowiedzialnego za przygotowanie i całościowe uregulowanie wszystkich aspektów zarówno jądrowego programu energetycznego, jak i zastosowań źródeł promieniowania jonizującego.

Wśród zadań i kompetencji dozoru jądrowego w ówczesnym Prawie atomowym wymieniono:

- wydawanie zezwoleń i innych decyzji regulacyjnych na lokalizację, budowę, rozruch, eksploatację i likwidację obiektów jądrowych poprzedzone odpowiednimi analizami i ocenami wszystkich czynników mających wpływ na bezpieczeństwo;
- przeprowadzanie przeglądu i oceny dokumentacji dostarczonej przez wnioskodawcę/inwestora dotyczącej bezpieczeństwa obiektów jądrowych;
- przeprowadzanie inspekcji dozorowych.

Organem odpowiedzialnym za formułowanie wymagań, wydawanie zezwoleń i przeprowadzanie kontroli dozorowych został Prezes Państwowej Agencji Atomistyki.

Niestety, opracowując Prawo atomowe, uchwalone w 1986 r. nie uniknięto pewnych błędów legislacyjnych polegających na nałożeniu na prezesa agencji zadań, których realizacja powodowała konflikt interesów (np. dotowanie instytucji nadzorowanych lub dalekich od funkcji dozorowych, koordynacja niektórych działań naukowych). Niemniej doświadczenia dozorowe zdobyte do czasu odstąpienia od programu jądrowego w Polsce, tzn. do 1993 r., w którym ostatecznie wstrzymano budowę pierwszej polskiej elektrowni jądrowej były przydatne w dalszych działaniach dozorowych dotyczących reaktorów badawczych, postępowania z od-

padami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym z tych reaktorów oraz zastosowania źródeł promieniowania jonizującego w medycynie, przemyśle i badaniach naukowych.

Nową ustawę - Prawo atomowe zredagowano i wydano w 2000 r. dostosowując ją, w procesie przedakcesyjnym, do dyrektyw Rady Europejskiej, a następnie już po przystąpieniu Polski do UE Prawo to nowelizowano wielokrotnie ze względu na konieczność implementacji kolejnych dyrektyw.

Ostatnia nowelizacja miała miejsce w 2011 r. Potrzeba zmian w Prawie atomowym wynikała m.in. z Uchwały Rady Ministrów z dnia 13 stycznia 2009 r. w sprawie działań podejmowanych w zakresie rozwoju energetyki jądrowej, z decyzji o ustanowieniu Pełnomocnika Rządu Polskiej Energetyki Jądrowej oraz inicjatyw w zakresie tworzenia nowych regulacji prawnych umożliwiających realizację PPEJ. Dodatkowym impulsem do nowelizacji Prawa atomowego była dyrektywa Rady 2009/71/EURATOM z dnia 25 czerwca 2009 r., ustanawiająca wspólnotowe ramy bezpieczeństwa jądrowego obiektów jądrowych.

Ostatecznie 13 maja 2011 r. Sejm przyjął znowelizowaną ustawę Prawo atomowe. Uchwalona została również tzw. ustawa inwestycyjna odnosząca się do energetyki jądrowej.

Obecnie system bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce obejmuje całość przedsięwzięć prawnych, organizacyjnych i technicznych zapewniających właściwy stan bezpieczeństwa jądrowego i radiacyjnego. Zagrożeniem bezpieczeństwa może być eksploatacja obiektów jądrowych zarówno w kraju, jak i za granicą oraz prowadzenie innej działalności z wykorzystaniem źródeł promieniowania jonizującego.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawnymi, wszystkie zagadnienia związane z ochroną radiologiczną, czy monitoringiem radiacyjnym środowiska są rozpatrywane łącznie z kwestią bezpieczeństwa jądrowego, a także ochrony fizycznej i zabezpieczeń materiałów jądrowych.

Takie rozwiązanie gwarantuje, że istnieje jedno wspólne podejście do aspektów ochrony radiologicz-

nej, bezpieczeństwa jądrowego, zabezpieczenia materiałów jądrowych i źródeł promieniotwórczych oraz że funkcjonuje jednolity dozór jądrowy.

Organami dozoru jądrowego w Polsce są: Prezes PAA, Główny Inspektor Dozoru Jądrowego oraz inspektorzy dozoru jądrowego będący pracownikami PAA.

Prezes PAA wykonuje swoje zadania przy pomocy Państwowej Agencji Atomistyki, która działa pod jego bezpośrednim kierownictwem. Organizację wewnętrzną PAA określa statut nadany przez Ministra Środowiska. W 2011 r. nastąpiła reorganizacja PAA, mająca na celu lepsze przygotowanie jej do pełnienia roli urzędu dozoru jądrowego w kontekście planowanego wdrożenia Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. Zarządzeniem Ministra Środowiska nr 69 z dnia 3 listopada 2011 r. został nadany Państwowej Agencji Atomistyki nowy statut, który zastąpił poprzedni statut nadany zarządzeniem Ministra Środowiska z dnia 15 lipca 2002 r. (M. P. z 2002 r. Nr 33, poz. 519 z późn. zm.). Szczegółowa struktura PAA została zmieniona zarządzeniem nr 4 Prezesa PAA z dnia 4 listopada 2011 r. w sprawie regulaminu organizacyjnego Państwowej Agencji Atomistyki (Dz. Urz. PAA Nr 2, poz. 6).

Zmiany struktury organizacyjnej Agencji dokonano w celu przygotowania tego urzędu do wykonywania nowych zadań dozoru jądrowego związanych z wprowadzeniem w Polsce energii jądrowej.

PAA często gości na łamach naszego pisma. Niedawno o nowych zadaniach i wyzwaniach stojących przed agencją mówił w wywiadzie dla PTJ Prezes Państwowej Agencji Atomistyki Janusz Włodarski (PTJ nr2/2011).

O współpracy z PAA wspomina w wywiadzie dla PTJ minister Trojanowska. Tematyka dozorowa, a więc i sprawy dotyczące PAA będą zapewne obecne na naszych łamach także w przyszłości.

*Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

PROGNOZOWANIE I DIAGNOZOWANIE STARZENIA KABLI W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Jacek Boguski, Grażyna Przybytniak

WSTĘP

Przewody i kable są istotnym elementem wszystkich elektrowni jądrowych, gdyż stanowią integralną część ich systemu sterowania i bezpieczeństwa. Szczególną uwagę przykładają się do kabli niskiego napięcia, tj. <1kV, zabezpieczających działanie przyrządów monitorujących pracę elektrowni. Około 61% tego typu kabli służy celom kontrolnym, 20% związanych jest z pracą różnego typu urządzeń, 5% stanowią kable komunikacyjne. Szacuje się, że w elektrowni jądrowej w otoczeniu jednego reaktora zainstalowanych jest ok. 1000 km różnego typu kabli. Aktualne wymogi bezpieczeństwa, jak również wysokie koszty operacji, nie pozwalają na wymianę kabli w czasie eksploatacji EJ przewidywanej obecnie na 40 - 60 lat. Dlatego przy projektowaniu EJ uwzględnia się czynniki środowiskowe na jakie narażone będą przewody elektryczne w czasie tak długiej eksploatacji, jak również przewiduje wszystkie możliwe nagłe niekorzystne zmiany warunków pracy będące skutkiem ewentualnych awarii.

W warunkach eksploatacyjnych działanie niekorzystnych czynników mających istotny wpływ na jakość kabli jest ograniczona do niektórych miejsc w EJ, tzw. „gorących punktów” (hot spots). Są one na ogół zlokalizowane wewnątrz węzłów technologicznych obsługujących reaktor. Wykaz przykładowych gorących punktów dla trzech powszechnie stosowanych typów reaktorów podano w Tabeli 1.

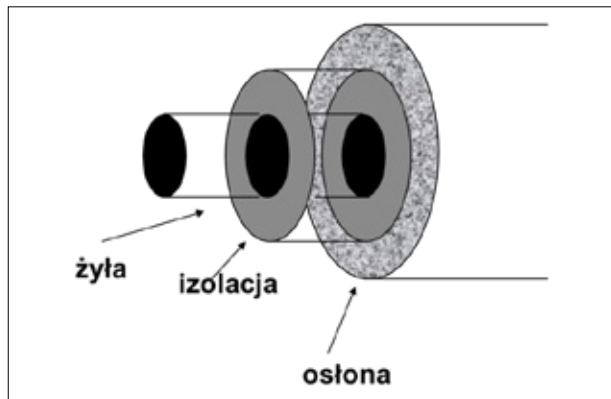
Obecnie w ramach Unii Europejskiej trwają intensywne prace nad stworzeniem jednolitej strategii kontroli jakości kabli stosowanych w elektrowniach jądrowych (EJ) oraz nad przewidywaniem zmian ich właściwości użytkowych. Planuje się m.in. porównanie różnych metod badawczych, opracowanie procedur testów przyspieszonego starzenia jak również stworzenie matematycznych modeli procesów degradacji izolacji i osłon kabli.

PROCESY STARZENIA KABLI

W elektrowniach jądrowych stosuje się różnego typu kable: jednożyłowe (rys. 1), wielożyłowe, osłonięte i nieosłonięte, zbrojone i osłonięte, ekranowane, czy współosiowe. Najczęściej ich izolacje i osłony wykonane są z kompozycji, których głównym składnikiem mogą być następujące polimery: sieciowane poliolefiny XLPO (zwłaszcza sieciowany polietylen XLPE), kopolimer etylenu i octanu winylu EVA, gumy etylenowo-propylenowe EPR, gumy silikonowe SiR, kopolimer etylenu i tetrafluoroetyleny ETFE, kopolimer etylen-propylen-dien EPDM, chlorosulfonowany polietylen CSPE jak również polichlorek winylu PVC (zwłaszcza w kablach starego typu). Obecnie stosowane są głównie tworzywa bezhalogenowe, które nie rozprzestrzeniają płomienia i nie wydzielają szkodliwych produktów gazowych, np.: chlorowodoru [1,2].

Tabela 1. Lokalizacja miejsc w EJ, w których kable są szczególnie narażone na starzenie [1]

Typ reaktora	Lokalizacja „gorącego punktu”	Temperatura/°C	Moc dawki/Gy*h ⁻¹
PWR	Pomieszczenie wytwornic pary	47–48 (do 100)	0,1
	Obieg pierwotny	50	0,7
BWR	Rejon przewężenia suchej obudowy bezpieczeństwa	100 ± 5	0,5
	Rejon zaworu nadmiarowego układu pary świeżej	70 ± 5	0,01
	Obszar monitora strumienia neutronów w zakresie mocy	80 ± 5	0,24
CANDU	Szafa zasilająca i szyb reaktora	41–60	0,6 -2,1
	Obszar wytwarzania pary	30–60	0,0008-0,2



Rys. 1. Budowa kabla jednożyłowego

Tworzywa sztuczne wchodzące w skład kabli poddawane są w EJ działaniu niekorzystnych czynników, takich jak: podwyższone tło promieniowania jonizującego (*gamma*), podwyższona temperatura, wilgoć, ozon, kontakt z chemikaliami (oleje, smary), naprężenia mechaniczne, wibracje, itp. Długotrwałe działanie tych czynników, każdego z osobna albo kilku jednocześnie na tworzywa (często w tzw. efekcie synergetycznym) przyczynia się do wzrostu szybkości starzenia polegającego na zmianach zachodzących na poziomie molekularnym: powstawaniu produktów rodnikowych, pękaniu łańcuchów polimerowych, utlenianiu, sieciowaniu, a w konsekwencji prowadzących do ich degradacji przejawiającej się w pogorszeniu właściwości makroskopowych.

Ogólnie proces starzenia polimerów można podzielić ze względu na mechanizm na dwa rodzaje:

- Starzenie fizyczne: zachodzi na skutek migracji plastifikatora, bądź jego odparowania pod wpływem podwyższonej temperatury. Ten mechanizm starzenia w znacznym stopniu zachodzi w PVC używanym w starszej generacji kablach instalowanych w EJ. Obserwowano również zjawisko migracji plastifikatorów z izolacji do osłony.
- Starzenie chemiczne, na które składają się procesy prowadzące do pęknięcia łańcuchów polimerów, sieciowania i utleniania. W długiej perspektywie czasowej degradacja prowadzi do tworzenia nie występujących wcześniej w polimerze grup funkcyjnych zawierających atomy tlenu: grup karboksylowych, karbonylowych, hydroksylowych, nadtlenkowych.

CHARAKTERYSTYKA CZYNNIKÓW ŚRODOWISKOWYCH ODDZIAŁUJĄCYCH NA KABLE W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Uważa się, że największy udział w degradacji kabli mają czynniki termiczne. Powodują one niekorzystne zmiany strukturalne pogarszające właściwości mechaniczne i izolacyjne. Wartości temperatur w zależności od typu reaktora i lokalizacji kabla mogą wahać się od 30 do nawet ponad 100°C (Tabela 1).

Istotny udział w starzeniu kabli ma promieniowanie *gamma* towarzyszące przemianom jądrowym zachodzącym w reaktorze. Kabel poddany jego działaniu w jednym z „gorących punktów” ulega napromienowaniu w całej objętości, a równomierność pochłoniętej dawki zależy od energii promieniowania i geometrii kabla. Na ogół moce dawek, na które narażone są kable w EJ wynoszą średnio 0,1 Gy/h [3]. Tak więc w trakcie 40 - 60-letniej eksploatacji całkowita dawka pochłonięta przez kabel może sięgać od 30 do ponad 50 kGy.

Wilgoć jest czynnikiem, który ma istotny wpływ na właściwości elektryczne izolacji kabli, szczególnie tych układanych w kanałach. Degradacja pod wpływem wilgoci może zachodzić szczególnie intensywnie w kablach zawierających hydrofilowe napełniacze, np.: tlenek magnezu MgO [1,2]. Wilgoć przyczynia się do migracji napełniacza wewnątrz izolacji co skutkuje wahaniami oporności elektrycznej dodatkowo przyspieszającymi degradację. Ścisłe związane z obecnością wody lub wilgoci jest tzw. zjawisko Watertreeing prowadzące do charakterystycznej degradacji tworzyw sztucznych [4,5].

Występowanie ozonu w atmosferze przyczynia się do wzrostu ryzyka utleniania izolacji lub powłoki kabla. Szczególnie narażone na ten proces są kable, których izolacje i osłony zawierają w swoim składzie materiał z dużym udziałem wiązań podwójnych między atomami węgla np. w EPDM, gdzie istnieje możliwość bezpośredniej addycji cząsteczki ozonu. Może on powstawać jako produkt oddziaływania promieniowania jonizującego na tlen znajdujący się w powietrzu.

Obecność różnego rodzaju chemikaliów, zwłaszcza niepolarnych węglowodorów (smary, oleje) powoduje pęcznienie osłon i izolacji kabli, zwłaszcza w długim okresie eksploatacji i w podwyższonej temperaturze. Pęcznienie wpływa niekorzystnie na właściwości mechaniczne tworzyw. Ponadto w spęcznionym tworzywie zdecydowanie łatwiej zachodzi migracja różnego rodzaju niskocząsteczkowych dodatków (antyutlenia-czy, rantypirenów, plastifikatorów), które pełnią kluczową rolę w utrzymaniu wysokiej jakości kabli.

Różnego rodzaju czynniki mechaniczne takie jak: wibracje, skręcenia, naprężenia, obciążenia w wielu

Tabela 2. Przepuszczalność, współczynnik dyfuzji i rozpuszczalność tlenu w XLPE [6]

Temperatura / °C	40	60	80
Przepuszczalność / kg m ⁻¹ h ⁻¹ atm ⁻¹	0,48 x 10 ⁻⁸	1,83 x 10 ⁻⁸	1,91 x 10 ⁻⁸
Współczynnik dyfuzji / m ² godz ⁻¹	36 x 10 ⁻⁸	83 x 10 ⁻⁸	144 x 10 ⁻⁸
Rozpuszczalność / kg m ⁻³ atm ⁻¹	0,0134	0,0134	0,0134

przypadkach mogą znacznie przyspieszyć degradujące działanie czynników wymienionych powyżej.

PRZYSPIESZONE STARZENIE KABLI

W warunkach laboratoryjnych przyspieszone starzenie prowadzi się w celu symulowania procesu degradacji tworzywa zachodzącego przez dziesiątki lat, w o wiele krótszym czasie i przy zintensyfikowanym oddziaływaniu czynników środowiskowych (promieniowanie *gamma*, wysoka temperatura). W efekcie tych działań zakłada się osiągnięcie takiego samego stopnia degradacji jak w warunkach rzeczywistych panujących w EJ. Iloraz wartości mocy dawki (Gy/h) zastosowanej w procesie przyspieszonego starzenia do mocy dawki spotykanej w czasie eksploatacji w EJ stanowi współczynnik przyspieszenia, natomiast całkowita dawka pochłonięta jest w obu przypadkach taka sama. W praktyce zaleca się, aby wartość współczynnika wynosiła nie więcej niż kilkaset [1,2]. Im większa wartość zastosowanego współczynnika, tym większe rozbieżności między faktycznym a założonym stopniem degradacji. Przy planowaniu warunków testu przyspieszonego starzenia należy uwzględnić wszystkie czynniki środowiskowe na jakie narażony jest kabel w czasie pracy.

DEGRADACJA OKSYDACYJNA

W świetle obecnego stanu wiedzy wydaje się, że starzenie w znacznym stopniu wynika z degradacji oksydacyjnej. Utlenianie materiału przy stosowaniu dużych mocy dawek promieniowania jonizującego często ograniczone jest szybkością dyfuzji tlenu. Oznaczono, że jeśli w trakcie przyspieszonego starzenia stosowana jest moc dawki 0,2 kGy/h, homogeniczna degradacja oksydacyjna zachodzi wyłącznie w 1 mm zewnętrznej warstwie polietylenu albo w 2,15 mm warstwie kopolimeru octanu winylu i etylenu. W głębszych warstwach utlenianie generowanych radiacyjnie rodników zachodzi w warunkach nierównowagowych. Dawkę absorpcyjną przy której następuje wyczerpanie tlenu początkowo rozpuszczonego w tworzywie można w przybliżeniu określić za pomocą następującego równania [6]:

$$D = S \times P \times 1,03 \times 10^{10} / G(-O_2)$$

Gdzie D – dawka pochłonięta (Gy), S - rozpuszczalność tlenu (moli g⁻¹ kPa⁻¹), P ciśnienie tlenu (kPa), G(-O₂) wydajność radiacyjna konsumpcji tlenu (/100eV).

Zwykle zakłada się, że ekspozycja przewodów elektrycznych na działanie promieniowania *gamma* nie przekracza 1 Gy/godz., zatem należy oczekiwać, że degradacja oksydacyjna zachodzi w warunkach równowagi z tlenem zawartym w próbce, a niedobór czynnika utleniającego jest możliwy jedynie w warunkach awaryjnych.

Tabela 2. przedstawia przepuszczalność, współczynnik dyfuzji i rozpuszczalność tlenu w usieciowanym polietylenie (XLPE) [7]. Podane wielkości odnoszą się wyłącznie do wybranego rodzaju PE, gdyż zależą one od stopnia krystaliczności polimeru, wielkości i struktury krystalitów, zawartości stabilizatorów i dodatków, itp.

TESTY SYMULOWANYCH AWARII (DBE)

Testy DBE (*design basis event*) polegają na odtworzeniu w laboratorium warunków odpowiadającym realnym stanom awaryjnym mogącym wystąpić w EJ. Zakładają one ekspozycję kabla na promieniowanie o mocy dawki od 1 do 10 kGy/h w temperaturze powyżej 70°C, poprzedzoną tzw. testami termodynamicznymi. Te ostatnie polegają na działaniu na kabel parą wodną pod wysokim ciśnieniem. Test ten projektowany jest w oparciu o specyficzne warunki w EJ i wykonywany jest w oparciu o założony profil temperaturowo-ciśnieniowy pary wodnej w funkcji czasu postulowany dla wielu rodzajów awarii, np.: LOCA (*loss of coolant accident*), MSLB (*main steam line break*). Niejednokrotnie w DBE uwzględniane jest dodatkowo przyspieszone starzenie mające na celu zasymulowanie działania czynników środowiskowych utrzymujących się na podwyższonym poziomie po wystąpieniu awarii (*post-DBA test*) [1,2].

RÓŻNICE MIĘDZY NATURALNYM I PRZYSPIESZONYM STARZENIEM KABLI

Główną przyczyną występowania różnic w efektach starzenia w warunkach typowych dla eksploatacji w EJ i starzenia przyspieszonego jest odmienny mechanizm

procesu degradacji. Jak wcześniej zaznaczono, proces utleniania istotny dla przebiegu starzenia często limitowany jest szybkością dyfuzji tlenu do materiału polimerowego z którego wykonana jest izolacja czy osłona kabla. Zintensyfikowanie dawek promieniowania *gamma* może sprawić, że degradacja oksydacyjna będzie przebiegać niehomogenicznie i kabel nie będzie stanowił reprezentatywnej próbki dla testów. Ponadto istnieje ryzyko, że zastosowanie zbyt wysokiej temperatury spowoduje wejście w obszar, gdzie mechanizm przyspieszonego starzenia będzie inny niż ten, który zachodzi w warunkach niezakłóconej eksploatacji. Generalnie stwierdzono, że oddziaływanie promieniowania jonizującego *gamma* poprzedzone działaniem podwyższonej temperatury skutkuje dalej posuniętą degradacją izolacji i osłony kabli niż działanie tych samych czynników środowiskowych w odwrotnej kolejności (synergia). Ponadto zaobserwowano, że naprzemienna degradacja radiacyjno-termiczna usieciowanych poliolefin powoduje w polimerach cykliczne wzrosty i spadki parametrów charakteryzujących proces starzenia. Stwierdzono, że w temperaturze otoczenia dla niektórych polimerów starzenie spowodowane degradacją radiacyjną zachodzi szybciej niż w temperaturze podwyższonej [8].

Przeprowadzano również badania polegające na napromieniowaniu badanego materiału w środowisku wodnym w temperaturach 40, 60 i 80°C. Wyniki wykazały spadek stopnia degradacji w przypadku najwyższej temperatury. Zatem okazuje się, że skutki wywołane czynnikami termicznymi i radiacyjnymi nie zawsze kumulują się, lecz mogą się niekiedy częściowo znosić [7]. Powyższe efekty zwykle wyjaśnia się biorąc pod uwagę zjawiska relaksacji makrocząstek tworzywa, która umożliwia w podwyższonych temperaturach rekombinację rodników i wzrost usieciowania polimeru.

W celu zbadania wpływu stosowania różnych współczynników przyspieszenia na wiarygodność uzyskiwanych wyników w testach laboratoryjnych, w 1985 r. zaplanowano w USA zakrojony na szeroką skalę eksperyment. Umieszczono w 15 EJ pakiety (w sumie sześć tysięcy próbek) składające się z różnego typu kabli układu sterowania i kabli układu bezpieczeństwa [9]. W eksperymencie, którego czas trwania planowany jest na 40 lat, w regularnych odstępach czasu pobierane są próbki różnego typu materiałów izolacyjnych i powłok zewnętrznych, a ich właściwości porównywane są z identycznymi próbkami podawanymi przyspieszonemu starzeniu. We wszystkich zbadanych dotąd próbkach (po 20 latach) stwierdzono występowanie pewnych korelacji między niektórymi wskaźnikami degradacji, jednakże zależności te różniły się co do zakresów występowania dla kabli starzonych naturalnie i sztucznie.

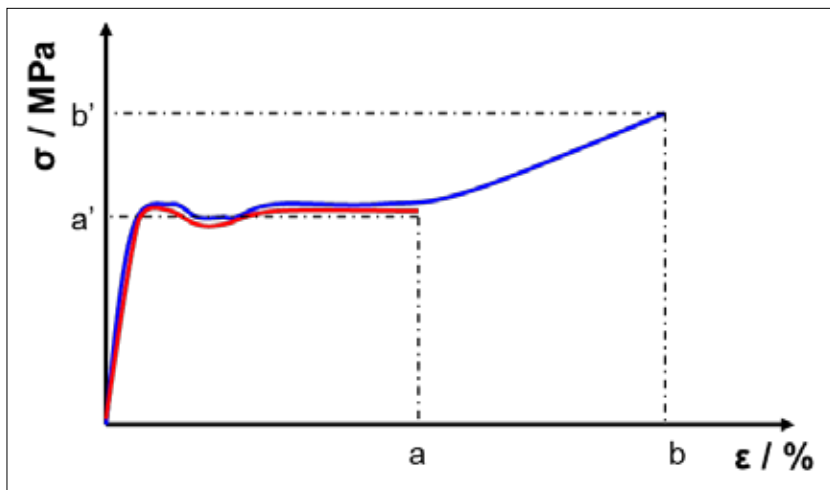
Te wstępne wyniki dowodzą jak trudnym zadaniem jest określenie kwalifikowanych warunków czy też kwalifikowanego okresu eksploatacji za pomocą stosowanych obecnie metod przyspieszonego starzenia.

WSKAŹNIKI STANU JAKOŚCI KABLI I METODY ICH POMIARÓW

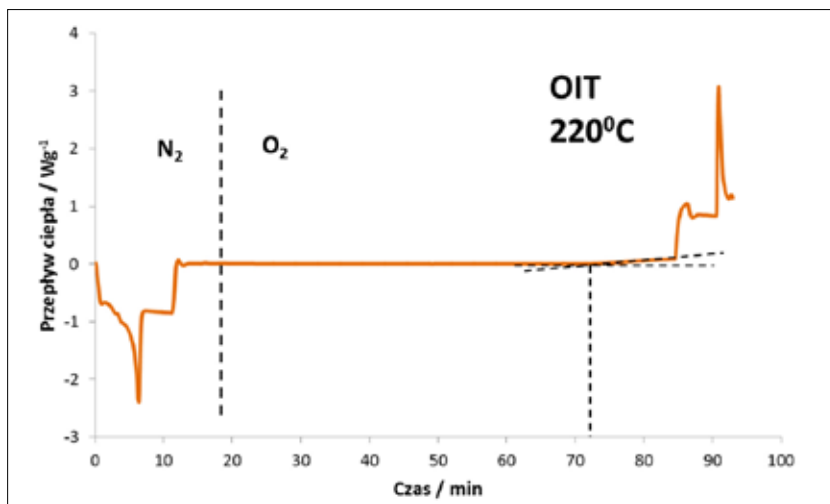
Do określenia kwalifikowanych warunków eksploatacji kabli, jak również do bieżącego monitoringu ich jakości, stosuje się mierzalne wielkości fizykochemiczne stanowiące wskaźniki stanu jakości kabli. Parametry te zmieniają się w zależności od stopnia degradacji i często można wyznaczyć pomiędzy nimi korelacje. Ogólnie wskaźniki można podzielić na związane z właściwościami chemicznymi (ciężar cząsteczkowy, gęstość, frakcja żelowa, stopień nienasycenia, zawartość antyutleniaczy i stabilizatorów, indeks tlenowy) gdzie zazwyczaj do pomiarów stosuje się mikroprobki (poniżej jednego grama); właściwościami mechanicznymi (wytrzymałość na zerwanie, wydłużenie przy zerwaniu oraz naprężenie przy zerwaniu, wskaźnik twardości); właściwościami elektrycznymi (oporność izolacji, napięcie przebicia). Poniżej przedstawiono charakterystykę najważniejszych wskaźników wraz z metodami ich pomiarów [1,2].

WYDŁUŻENIE PRZY ZERWANIU

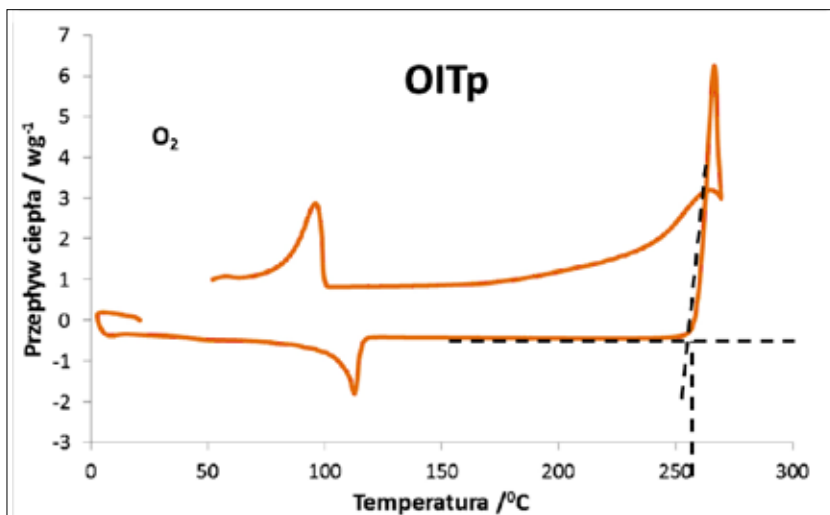
Jest to jeden z najważniejszych wskaźników monitorujących jakość izolacji i osłon kabli [10]. Z wykresu uzyskanego w trakcie rozciągania kształtek tworzyw o standaryzowanych wymiarach można odczytać wartość naprężenia przy zerwaniu oraz wydłużenia przy zerwaniu (rys. 2). Ta ostatnia wartość uznawana jest za reprezentatywny i czuły wskaźnik stanu degradacji tworzywa. Przyjęto, że redukcja wydłużenia izolacji przy zerwaniu o 50% w stosunku do wartości pierwotnej (dla kabla nie starzonego) stanowi kryterium awarii kabla i jest równoznaczna z wyeliminowaniem go z dalszej eksploatacji [1,2]. Wskaźnik ten posiada jednakże pewne wady. Staje się on mało reprezentatywny w przypadku rozciągania kształtek wykonanych z usieciowanych poliolefin (XLPO), gdyż w tego typu tworzywach czułość wskaźnika w funkcji stopnia degradacji jest niska. Bieżące monitorowanie starzenia kabla nie jest w tym przypadku możliwe ze względu na skokowy charakter zmiany wydłużenia dopiero w momencie osiągnięcia znacznego pogorszenia jakości kabla. Ponadto do pomiarów wytrzymałości na rozciąganie wymagane są stosunkowo duże rozmiary próbek. Często kompozycje



Rys. 2. Zależność naprężenia σ w funkcji wydłużenia ϵ charakterystyczna dla próbek polimerowych. b oznacza początkowe wydłużenie przy zerwaniu, a – wydłużenie po starzeniu. Spadek współczynnika $a/b \cdot 100\%$ poniżej 50% oznacza wykluczenie kabla z dalszego użytkowania.



Rys. 3. Wyznaczanie OIT na przykładzie folii PE w temperaturze 220°C, OIT = 58,32 min



Rys. 4. Wyznaczanie OITp na przykładzie folii PE, OITp = 258°C. Pomiar w atmosferze tlenu

tworzyw zawierające do kilkunastu składników (polimery, niepalniacze, wypełniacze, stabilizatory, pigmenty, itp.) może cechować niejednorodność struktury, co przejawia się w znacznym rozrzucie uzyskanych wyników. Zatem, w celu uzyskania wiarygodnych danych, konieczne jest zbadanie dużej ilości próbek i przeprowadzenie ich analizy statystycznej.

CZAS INDUKCJI UTLENIANIA OIT

Wskaźnik OIT (oxidative induction time) określa czas potrzebny do rozpoczęcia reakcji utleniania w warunkach stałej temperatury w strumieniu tlenu (rys. 3).

OIT stanowi powtarzalną i bezpośrednią metodę wiarygodnego oszacowania stanu zaawansowania utlenienia izolacji kabla [11]. Może on również służyć jako miara zużycia antyutleniacza w procesie starzenia. Pomiar OIT wymaga standaryzacji [12], a jego wynik zależy od temperatury izotermicznego wygrzewania próbki. Ze względu na niewielką masę próbki potrzebną do badań (ok. 15mg), wskaźnik ten jest wygodny do oceny degradacji oksydacyjnej kabli. Pomiar czasu indukcji utleniania dokonywany jest metodą różnicowej kalorymetrii skaningowej DSC (differential scanning calorimetry) [13]. Badana próbka ogrzewana jest według ustalonego wcześniej profilu w atmosferze gazu obojętnego (azotu), a następnie tlenu, gdy osiągnięta zostanie zakładana temperatura pomiaru. OIT oznacza czas jaki upływa pomiędzy przełączeniem gazów a gwałtownym wzrostem na krzywej termogramu przypisywanym tzw. pikowi utleniania. Temperatura pomiaru OIT jest wyższa od temperatury topnienia polimeru, jednak powinna być na tyle niska, aby wartość OIT była nie krótsza niż 10 min.

TEMPERATURA INDUKCJI UTLENIANIA OITP

Wskaźnik OITp mierzony jest w analogiczny sposób jak OIT z tą różnicą, że pomiar dokonywany jest w warunkach dynamicznych, przy stałym wzroście temperatury od 0 do 300°C w atmosferze tlenu (rys. 4). Dla większości tworzyw kablowych zakres ten jest wystarczający do zainicjowania reakcji utleniania. Sygnał odpowiadający temperaturze indukcji utleniania jest wyraźny, a jego wartość jest zwykle nie mniejsza niż 0,5 W/g. OITp może z powodzeniem zastąpić OIT jako wskaźnik jakości izolacji i osłon kabli, zwłaszcza gdy izoterma utleniania w pomiarze OIT jest trudna do zaobserwowania bądź gdy jego wartości są zbyt niskie (<10min).

GĘSTOŚĆ

Niekiedy dogodnym wskaźnikiem stanu jakości kabli jest pomiar gęstości. Zaobserwowano, że dla wielu tworzyw sztucznych gęstość wzrasta wraz ze stopniem degradacji. Przyczyną jest kurczenie się sieci polimerowej na skutek sieciowania oraz zamiany atomów wodoru na atomy tlenu w procesie degradacji oksydacyjnej. W przypadku PVC zachodzi również proces wypacania plastifikatora powodujący zmniejszenie odległości między łańcuchami polimeru [1,2]. Dla polimerów semikrystalicznych za zwiększenie gęstości odpowiada wzrost zawartości fazy krystalicznej, której objętość molowa jest mniejsza niż fazy amorficznej. W przeciwieństwie do pomiarów właściwości mechanicznych, oznaczenia gęstości są szybsze, prostsze i wymagają znacznie mniejszych objętości próbek, podobnie jak pomiary OIT. Zwykle wyniki obu stosowanych zamienne technik pomiarowych są porównywalne, a znalezione korelacje umożliwiają stosowanie jednej, dostępnej metody. Jednakże w przypadku kabli zawierających w swym składzie dużą ilość napelnaczy nieorganicznych zmiany gęstości w matrycy polimerowej mogą zawierać się w granicach błędu pomiaru, co wyklucza zastosowanie tej metody do monitorowania procesu starzenia.

FRAKCJA ŻELOWA I EKSTRAKCJA ANTYUTLENIACZY

W procesach degradacji oksydacyjnej wywołanej starzeniem radiacyjnym i termicznym dochodzi do szeregu reakcji rodnikowych, których jedną z konsekwencji jest pękanie łańcuchów makrocząsteczek polimeru. Wśród kabli używanych w energetyce jądrowej

czołowe miejsce zajmują te izolowane usieciowanymi poliolefinami, zwłaszcza usieciowanym polietylenem XLPE. Produktami degradacji sieci są fragmenty łańcuchów o mniejszym ciężarze cząsteczkowym i znacznej ruchliwości segmentów łańcucha. Powyższe zjawiska wpływają na rozpuszczalność polimeru w wybranych wrzących rozpuszczalnikach organicznych zwykle zmniejszając zawartość nierozpuszczonej pozostałości, tj. frakcji żelowej, która może być miernikiem postępu degradacji.

Z technicznego punktu widzenia dokładnie w ten sam sposób można prowadzić ekstrakcję niskociężnych dodatków takich jak stabilizatory czy antyutleniacze [14], jak również ewentualnych produktów ich rozkładu. Pomiar ubytku antyutleniacza (jego stężenia w ekstrakcie) wraz z postępującą degradacją stanowi ważną informację na temat starzenia kabli, którą jak wspomniano wcześniej można skorelować z wartością OIT, zwłaszcza gdy użyto tzw. antyutleniaczy fenolowych.

TEORETYCZNE PRZEWIDYWANIE CZASU EKSPLOATACJI KABLI

Teoretyczne przewidywania okresu użytkowania danego polimeru opierają się na ekstrapolacji zależności wynikającej z równania Arrheniusa lub jego pół-empirycznych pochodnych. Przy takim podejściu obliczenia prowadzi się w odniesieniu do zmian zachodzących w podwyższonej temperaturze, co ma odzwierciedlać tzw. przyspieszone starzenie termiczne. Do badań kinetycznych stosuje się, tak jak w przypadku reakcji chemicznych zależność wiążącą parametry kinetyczne reakcji degradacji z temperaturą:

$$k = K a \exp(-\Delta E/RT)$$

gdzie: k – stała szybkości reakcji, Ka – współczynnik przedwykładniczy, ΔE – energia aktywacji, R – stała gazowa, T – temperatura w skali bezwzględnej.

Parametry kinetyczne są w dużej mierze wielkościami empirycznymi, których wartości wyznacza się odpowiednimi metodami eksperymentalnymi. Jeśli zmiany w danym polimerze spełniają równanie Arrheniusa, to istnieje liniowa zależność pomiędzy logarytmem rejestrowanych w funkcji czasu zmian a odwrotnością temperatury; nachylenie prostej zależy od ΔE . Stosowanie powyższego modelu wymaga następujących założeń:

- rodzaj i liczba defektów w materiale nie zależy od temperatury,
- mechanizm procesów chemicznych odpowiedzialnych za starzenie nie zależy od temperatury, a wtedy również ΔE jest niezależne od temperatury.

Przyjęcie wymienionych kryteriów *a priori* wiąże się z ryzykiem popełnienia istotnego błędu, ponieważ równanie jest spełnione tylko w rzadkich przypadkach. W wielu badaniach stwierdzono, że w niskich temperaturach ΔE przyjmuje mniejsze wartości, niż w wyższych [15], zatem ekstrapolacja danych uzyskanych w wysokich temperaturach do temperatur niższych (eksploatacyjnych) powodować może znaczne niedoszacowanie skali procesu degradacji.

METODY KWALIFIKACJI CZASU EKSPLOATACJI KABLI

W planowaniu i opracowywaniu testów przyspieszonego starzenia kabli dla EJ często przeprowadza się szereg czynności, które zawierają się w następujących ogólnie zdefiniowanych działaniach [1,2]:

- Kwalifikacja środowiskowa czyli działanie mające na celu określenie wszelkich czynników środowiskowych na jakie narażony będzie kabel podczas swojej eksploatacji. Może być prowadzona według ogólnych, opisanych w normach metod, bądź według lokalnych procedur przyjętych w danej elektrowni jądrowej.
- Wstępna kwalifikacja (*type testing*) przeprowadzana jest dla kabli przed ich instalacją w EJ i służy do opracowania założeń przewidywanego czasu użytkowania bądź określenia optymalnych warunków pracy, przy których dany kabel zachowa swoje właściwości i na podstawie których możliwe będzie określenie czasu, po którym jakość kabla będzie ciągle zadowalająca.
- Kwalifikowany okres użytkowania to okres, w trakcie którego kabel pracujący w danych warunkach eksploatacyjnych (czynniki środowiskowe) ulega procesom starzenia, które nie powodują pogorszenia wybranych właściwości kabla poniżej określonego kryterium.
- Kwalifikowane warunki stanowią opis czynników środowiskowych wyrażonych poprzez mierzalne wielkości fizykochemiczne, przekładających się na wskaźniki definiujące stan kabla. Kabel pracujący w tych warunkach utrzymuje swoją jakość na zadowalającym poziomie.

W celu przeprowadzenia kwalifikacji prognozowanego okresu użytkowania kabla poddaje się go przyspieszonemu starzeniu a następnie bada się określone wskaźniki, np.: wydłużenie przy zerwaniu, aż do momentu gdy ich wartość osiągnie poziom wskazujący na stan niedostatecznej jakości kabla. Duże współczynniki przyspieszenia wprowadzają wysoki stopień niepew-

ności kwalifikowanego czasu eksploatacji w danych warunkach. Znane są przypadki testowania kilku różnych materiałów izolacyjnych w krótkim czasie (duże wartości współczynników przyspieszenia), z których część nie sprostала wymaganiom następnych kwalifikacji tzw. testów symulowanej awarii (*DBE – Design Basis Event*) po zastosowaniu napromieniowania dawką znacznie mniejszą od przewidywanej. W związku z powyższym, w celu zredukowania poziomu niepewności przeprowadza się następujące działania:

- Założenie początkowe krótkiego okresu użytkowania (10 – 15 lat) jako wstępna kwalifikacja.
- Rozszerzanie okresu kwalifikacji na podstawie testów starzeniowych i planowanych testów DBE, poprzez ich powtarzanie pod koniec wstępnie założonego okresu użytkowania.

Przed upływem wstępnie założonego okresu użytkowania pobierane próbki kabli poddawane są przyspieszonemu starzeniu z użyciem znacznie mniejszych wartości współczynników przyspieszenia niż w przypadku wstępnej kwalifikacji, jak również poddawane są testom DBE. W testach tych zakłada się przewidywany okres użytkowania. Po otrzymaniu zadowalających wartości wskaźników stanu jakości kabla po przyspieszonym starzeniu, kwalifikowany okres użytkowania zostaje rozszerzony o założoną wartość. Przed upływem przedłużonego czasu planuje się kolejne testy starzeniowe z odpowiednimi założeniami. Czynności te powtarzane są do momentu stwierdzenia braku możliwości przedłużania kwalifikowanego okresu ze względu na zbyt zaawansowany proces degradacji kabla i prawdopodobieństwo wystąpienia awarii. Powyższe działania ograniczają się do nowobudowanych EJ lub starych, gdzie z różnych przyczyn zdecydowano się na częściową wymianę instalacji, np.: w celu usunięcia kabli izolowanych PVC. W przypadku nowych EJ umieszcza się próbki tzw. „świadka”, tj. odcinków kabli, które będą służyły monitorowaniu starzenia materiałów polimerowych w „gorących punktach” EJ. Pomimo dużego zasobu próbek należy brać pod uwagę, że do wielu badań, np.: wydłużenia przy zerwaniu, potrzebne są dość długie odcinki kabli. Obecnie zaleca się wykorzystywanie istniejących, jak i poszukiwanie nowych metod badań fizykochemicznych, o ile to możliwe nieinwazyjnych i reprezentatywnych, dla określenia stopnia zaawansowania procesu starzenia kabli. Jest to konieczne ze względu na fakt, iż pobieranie próbek z kabli pracujących w już istniejących EJ jest dozwolone jedynie w USA i to wyłącznie z osłon [16, 17].

PODSUMOWANIE

Dyskusja dotycząca wdrożenia energetyki jądrowej bez wyczerpującej analizy wszelkich kwestii bezpieczeństwa jest niepełna. Jak wcześniej podkreślono, systemy bezpieczeństwa każdej elektrowni jądrowej działają m.in. dzięki różnego rodzaju przewodom i kablom średniego i niskiego napięcia, od których zależą takie funkcje jak transmisja danych czy sterowanie. Każdy system bezpieczeństwa jest na tyle niezawodny na ile niezawodne jest jego najsłabsze ogniwo. Odporność radiacyjna i termiczna tworzyw sztucznych stosowanych w izolacjach i osłonach kabli jest mała w porównaniu z odpornością innych materiałów używanych w EJ, dlatego też niezbędna jest wnikliwa analiza zjawisk zachodzących w polimerach narażonych na działanie niekorzystnych czynników środowiskowych. Konieczne jest opracowanie modelu, za pomocą którego możliwe byłoby przewidywanie czasu eksploatacji kabli (kwalifikacja użytkowa) z uwzględnieniem wszelkich istotnych zmiennych w funkcji czasu. Drogą do osiągnięcia tego celu jest wyjaśnienie mechanizmów degradacji kabli i ich analiza w kontekście różnic pomiędzy testami przyspieszonego starzenia a degradacją w warunkach panujących w EJ.

W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej realizowany jest w ramach 7 PR projekt „Ageing Diagnostics and Prognostics of low-voltage I&C cables” - akronim ADVANCE, 2011-2013, koordynator Electricité de France, który uzyskał finansowanie w konkursie Fission-2010-2.1.1: „Ageing of non-metallic NPP components”.

prof. IChTJ, dr inż. Grażyna Przybytniak,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

mgr inż. Jacek Boguski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura:

- [1] *Assessment and management of aging of major nuclear power plants components important to safety: In-containment instrumentation and control cables IAEA TECDOC 1188*, 2000.
- [2] *Assessing and managing cable ageing in nuclear power plants: IAEA Nuclear Energy Series*, No. NP-T-3.6; 2012
- [3] Bartonicek B. i in., *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B* 151, 423, 1999.
- [4] Acudo M. i in., *Journal of Electrostatic*, 53, 267-294, 2001.
- [5] Chonung K. i in., *Polym. Degrad. Stab.* 92, 537-544, 2007.
- [6] Clought R.L. i in., *J. Polym. Sci., Polym. Chem. Edition*, Vol. 23, 362, 1985.
- [7] Matsui T. i in., *Radiat. Phys. Chem.* 63, 193, 2002.
- [8] Celina M. i in., *Radiat. Phys. Chem.* 48, 613, 1996.
- [9] Gillen K.T. i in., *Polym. Degrad. Stab.* 71, 15, 2001.
- [10] Gillen K.T. i in., *Polym. Degrad. Stab.* 91, 2146, 2006.
- [11] Placek V. i in. *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B* 208, 448, 2003.
- [12] EN 728:1997.
- [13] Przygocki W., *Metody Fizyczne Badań Polimerów*, str. 218, wyd. PWN, 1990.
- [14] Pielichowski J., Puszyński A., *Technologia Tworzyw Sztucznych*, str. 284, wyd. NT, 2003.
- [15] Yagi T. i in., *Cable Industries Review* 84, 11, 1992.
- [16] Gillen K.T. i in., *Radiat. Phys. Chem.* 56, 429, 1999.
- [17] Casa J.V. i in., *Polym. Degrad. Stab.* 87, 77, 2005.

PO TRZĘSIENIU ZIEMI I TSUNAMI

Krzysztof Rzymkowski

Przy omawianiu skutków trzęsienia ziemi 11 marca 2011 r. najczęściej pojawiają się komentarze dotyczące przede wszystkim katastrofy jądrowej w elektrowni, rzadko natomiast wspomina się o innych zniszczeniach. Usuwanie tych ostatnich będzie trwało krócej niż przewidywany okres likwidacji skażeń, ale będzie miało istotny wpływ na gospodarkę Japonii.

Trzęsienie ziemi z 11 marca było tak silne, że zmieniło oś obrotu Ziemi (o 10 cm – dzień uległ skróceniu o 1,6 μ s), a wyspa Honsiu została przesunięta o około 2,4 m. Było ono poprzedzone wstrząsami o sile 7,2 w skali Richtera, które wystąpiły 9 marca 2011 r.

Japonia, będąc krajem położonym na terenie o bardzo wysokiej aktywności sejsmicznej, ma długą tradycję ochrony przed skutkami trzęsień ziemi. W erze Meiji, czyli w początkach XIX wieku, wprowadzono siedmio-stopniową skalę siły trzęsień ziemi - Shindo, obecnie po modyfikacjach zbliżoną do skali Mercallego. Praktycznie wszystkie projekty techniczne, zwłaszcza wielkie przedsięwzięcia energetyczne, planowane są ze szczególnym uwzględnieniem warunków sejsmicznych. Do celów projektowych używana jest jednostka Gal (Galileo), określająca tzw. szczytowe przyspieszenie na powierzchni ziemi (*Peak Ground Acceleration* -PGA), zdefiniowana jako odsetek przyspieszenia ziemskiego, tzn. $1g = 980 \text{ Gal}$ lub $1 \text{ Gal} = 0,01g$. Wytrzymałość bloku 1 elektrowni Fukushima była zaprojektowana na 180 Gali (0,18g). Pozostałe bloki miały wytrzymać 450 Gali (0,45g). Stacje sejsmiczne w pobliżu Fukushimy zarejestrowały od 300 do 600 Gali (0,30g do 0,60g). Należy ponadto pamiętać, że po głównym trzęsieniu ziemi nastąpiło ok. 300 trzęsień wtórnych o różnej sile.

Fala tsunami o wysokości około 14 m (czyli mniej więcej wysokości 5 piętrowej kamienicy) spowodowała przede wszystkim zniszczenia w północno-wschodnich prefekturach Japonii, głównie Iwata, Miyagi i Fukushima. Najbardziej narażonymi na falę tsunami z 11 marca 2011 r. były następujące elektrownie jądrowe: Onagawa (bloki 1, 2, 3), Fukushima I (bloki 1, 2, 3, 4, 5, 6), Fukushima II (bloki 1, 2, 3, 4) oraz Tokai II (blok 1). Docierając do dalej położonych elektrowni Hamaoki i Ikaty, fala tsunami wytraciła już swoją energię i nie spowodowała zniszczeń. Wszystkie reaktory w chwili trzęsienia ziemi zostały automatycznie wyłączone.

Trzęsienie ziemi oraz fala tsunami spowodowała ogromne straty w rolnictwie, przemyśle i transporcie. Zniszczeniu uległy drogi, koleje, domy (całe osiedla) linie energetyczne, linie łączności. Powstały zwały gruzu, stosy połamanych drzew, złomowiska samochodów, zanieczyszczenia chemiczne, pożary. Dewastacji uległo środowisko naturalne. Zginęło ok. 15 000 ludzi, 4 000 uznano za zaginione, tysiące ludzi straciło swój dobytek, miejsca pracy, mieszkania.

Fala tsunami oprócz zniszczeń powstałych w czasie napływu, powodowała dalsze szkody w fazie cofania się, zabierając do morza gruz, sprzęt, przy okazji zanieczyszczając także łowiska.

Zniszczone zostały uprawy ryżu, warzyw, sady, które zostały zalane słoną wodą, następnie pokryte szlamem, błotem oraz chemikaliami wypływającymi ze zniszczonych zbiorników. Niektóre rodziny farmerskie uprawiały ziemię w tej okolicy już od 400 lat, a obecnie właściciele zostali pozbawieni możliwości kontynuacji upraw. W rejonach Tohoku i Kanto, łącznie ok. 23 000 ha zostało zalanych wodą ze szlamem. Największe straty powstały w prefekturze Miyagi, gdzie sytuacja dotyczy 15 000 ha, co stanowi 50% całkowitej powierzchni upraw w tym rejonie. Zniszczone zostały też zakłady przetwórcze powiązane z rolnictwem i hodowlą.

Jeszcze bardziej dramatyczne straty powstały w rybołówstwie. Połowy w tym regionie pokrywały około 10% zapotrzebowania krajowego. Zniszczeniu uległy hodowle ostryg, krewetek stanowiących 30% krajowej produkcji. Cały przemysł powiązany z rybołówstwem był właśnie przygotowany do rozpoczęcia nowego sezonu. W pobliżu elektrowni wstrzymano uprawy niektórych roślin, przede wszystkim ryżu, ze względu na wysoki stopień skażenia gleby i pochłanianiu przez tę uprawę dużej ilości radioaktywnego ceszu. Produkcja ryżu w prefekturze Fukushima należała do największych (450 000 ton rocznie) w Japonii.

Z powyższych przyczyn premier Japonii Yoshihiko Noda na konferencji prasowej stwierdził, że „nie będzie odnowienia Japonii bez odbudowy Fukushimy”.

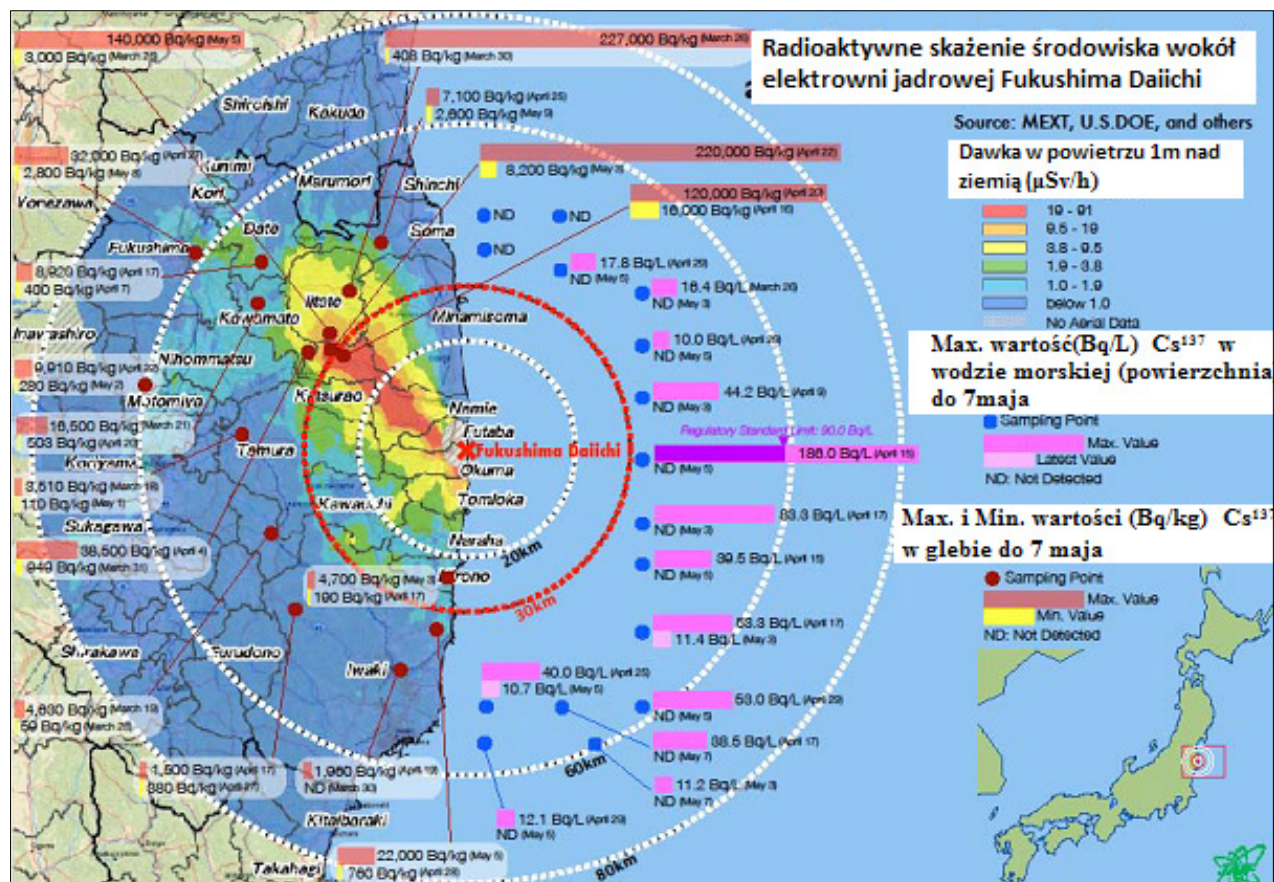
Prawie natychmiast po ustąpieniu fali tsunami przystąpiono do usuwania jej skutków rozpoczynając od ratowania i poszukiwania ludzi, organizowania doraźnej pomocy oraz oszacowania ogromu zniszczeń. Należy

zwrócić uwagę na całkowitą niemożność komunikacji międzyludzkiej w chwili nawałnicy, za wyjątkiem ograniczonych możliwości sieci komórkowych. Oprócz rozległych działań sieci obrony cywilnej np.: monitoringu radiacyjnego (wspomaganego później nawet przez organizacje pozarządowe i międzynarodowe) do akcji włączono wszystkie możliwe służby mające jakikolwiek związek nie tylko z ochroną radiologiczną, ale i z np.: pomocą medyczną (włączając w to pomoc psychologiczną odgrywającą w skrajnie trudnych warunkach istotną rolę w zapobieganiu panice i następnej depresji).

W miarę gromadzenia informacji z obserwacji stanu reaktorów zdecydowano o zmianie kwalifikacji oceny poziomu katastrofy z 4 do najwyższego poziomu 7, w międzynarodowej skali stosowanej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej- MAEA. Stopień 4 to awaria bez znaczącego zagrożenia poza obiektem, stopień 7-wielka awaria – uwolnienie znacznych ilości substancji promieniotwórczych, krótko i długo żywotnych izotopów rozprzestrzeniających się na znacznym obszarze. Spodziewano się, że parująca woda odłoni górne partie rdzenia, powodując jego nadtopienie. Ponadto konieczność zmniejszenia ciśnienia w zbiorniku reaktora spowodowała uwalnianie wodoru, wraz

z którym nastąpiła emisja pierwiastków promieniotwórczych - jodu i cesu (J^{131} , Cs^{134} , Cs^{137}), powodując skażenie środowiska. W raporcie TEPCO (czerwiec 2011) stwierdzono, że w pierwszych czterech dobach po trzęsieniu ziemi przedostały się do atmosfery (oprócz jodu i cesu) śladowe ilości izotopów strontu Sr^{90} , plutonu (P^{238} , P^{239} , P^{240} i P^{241} – ok. 50g) neptunu Np^{239} - 1mg, teluru Te^{129} . Z punktu widzenia ochrony radiologicznej ludności najistotniejszym izotopem jest jod i cez szybko wchłaniane przez organizm. Zgodnie z początkowymi szacunkami rządu Japonii podczas całej awarii wydostał się cez-137 o aktywności 15 PBq. Wielkość ta, jest kwestionowana przez niektóre ośrodki zagraniczne szacujące całkowitą aktywność na 36 PBq. (P skrót przedrostka peta odpowiadającemu współczynnikowi 10^{15} jednostki podstawowej).

Dodatkowo w początkowej fazie usuwania skutków awarii konieczne było, ze względu na brak dostatecznej ilości zbiorników, uwolnienie tysięcy litrów skażonej wody do oceanu. Mimo wszystko ocenia się, że całkowita emisja tych pierwiastków mogła osiągnąć 10% podobnej emisji w trakcie awarii w Czarnobylu w 1986 r. Największe skażenia gleby, lasów oraz rzek zaobserwowano w kilkukilometrowym paśmie leżącym w kierunku północno-zachodnim w obrębie 30 kilometrowej strefy,



Rys. 1. Zakres skażeń promieniotwórczych i rejony ewakuacji. (JAIF)

rozciągającej się wokół elektrowni Fukushima Dai-ichi.

Niepewność dalszego rozwoju sytuacji (odnosząca się przede wszystkim do skażenia powietrza) spowodowała decyzję o czasowej ewakuacji ludności z zagrożonych terenów. Ustalono rejon tzw. pełnej ewakuacji ludności wyznaczając obszar o promieniu 20 km od centrum źródła skażeń tzn. od elektrowni Fukushima Dai-ichi, oraz rejon tzw. ograniczonej ewakuacji w promieniu 30 km. W tym rejonie obowiązywała czasowa ewakuacja, która obowiązuje nadal na obszarach o podwyższonym poziomie promieniowania. Przewidywany jest powrót mieszkańców po przeprowadzeniu dekontaminacji. Na rys. 1 przedstawiono zakres skażeń promieniotwórczych i rejon ewakuacji.

W kwietniu 2011 r. przyjęto wstępny plan usuwania skutków trzęsienia ziemi ze szczególnym uwzględnieniem usuwania skutków awarii elektrowni, tzw. „mapa drogowa odbudowy”.

Usuwanie zniszczeń wywołanych falą tsunami wymagało przede wszystkim: odbudowy sieci energetycznych, sieci komunikacyjnych, rozpoczęcia usuwania gruzów, utylizację odpadów zagrażających ludziom i środowisku. W następnej kolejności planowano przystąpienie do odbudowy gospodarki, poprzez pomoc finansową przy zakupie nowego sprzętu, odbudowie portów itp. Szybko powstały spółki odtwarzające przemysł rybołówstwa, wprowadzające jednocześnie jego reorganizację np. ograniczenie liczby portów rybackich oraz nowoczesne sposoby wykorzystania drogiego sprzętu. Rozpoczęto przygotowania do usuwania zasolenia gleby. Metody te były już wcześniej stosowane w Japonii, ponieważ podobne problemy często spowodowane były przez silne tajfuny przechodzące nad Japonią.

Powołano specjalne grupy ekspertów, których zadaniem było opracowanie i przedstawienie rządowi analizy przyczyn i skutków awarii. Przeprowadzenie dokładnej analizy skutków awarii będzie możliwe dopiero po ustaleniu pełnego ich zakresu, co będzie procesem długotrwałym, tak więc końcowa analiza spodziewana była w połowie 2011 r.

Pierwszą wstępną analizę, opublikowano 9 maja 2011 r. pt. „Wnioski wypływające z analizy awarii w elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi” (*Lessons learned from the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant*). Została ona przeprowadzona przez zespół ekspertów z: *Open Standards for the Information Society* (OASIS) – Otwarte Standardy Informacji Społecznej, Podkomitet Analiz Technicznych, *Committee for Investigation of Nuclear Safety* (CINS) – Komitet Badań Bezpieczeństwa Jądrowego, *Atomic Energy Society of Japan* (AESJ) – Japońskie Towarzystwo Energii Atomowej.

W raporcie uwzględniono znane przyczyny awarii.

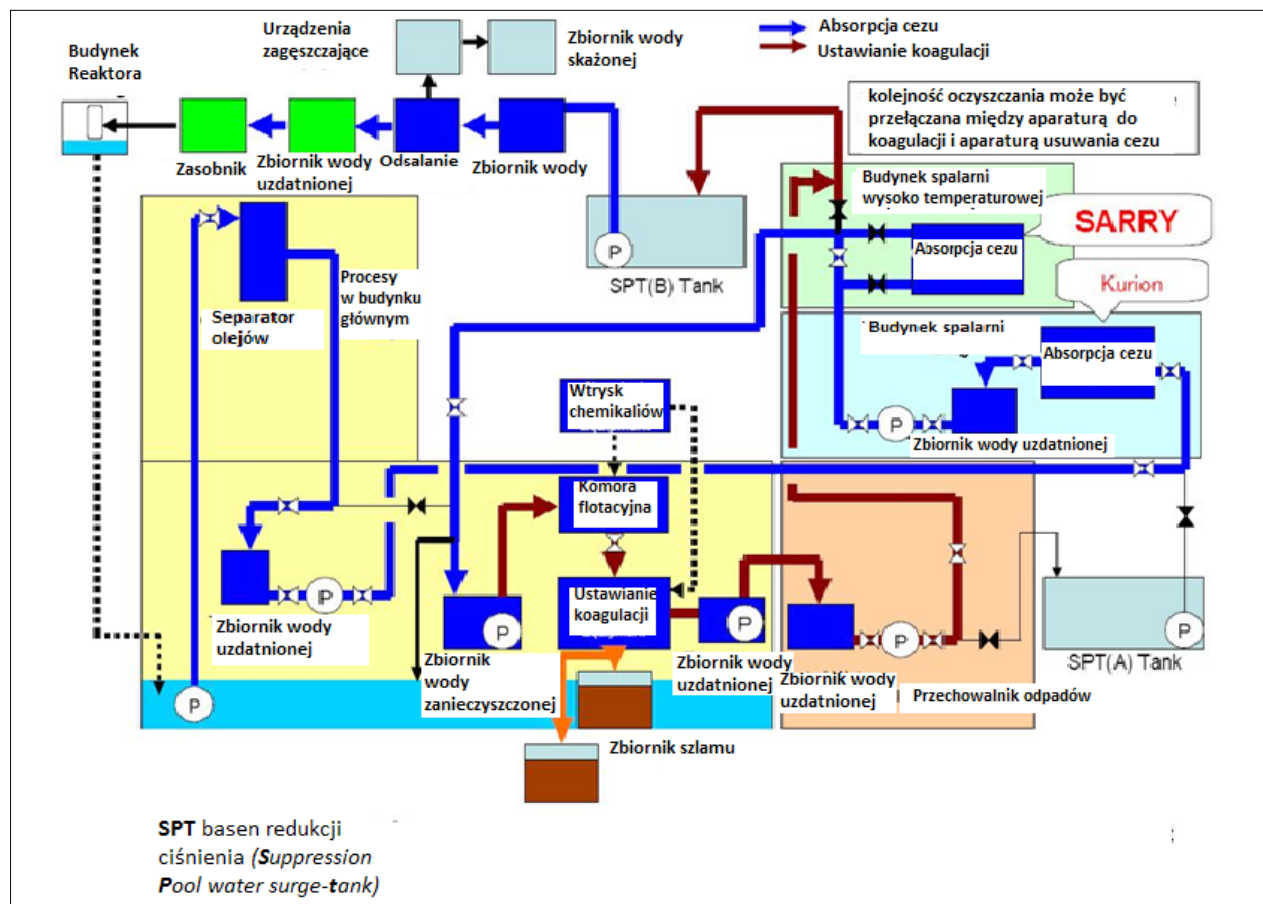
Kolejne wyniki badań skutków awarii, przygotowane przez zespoły międzynarodowe, przedstawiono w czasie pięciodniowej (20-25 czerwiec 2011 r.) konferencji organizowanej w Wiedniu przez MAEA oraz podobnej konferencji organizowanej przez OECD. W czasie tych spotkań zaprezentowano również raport rządu japońskiego (*Report of Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety- The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations*).

Działania rządu oceniono jako niedostateczne, szczególnie zwrócono uwagę na brak łączności pomiędzy rządem a centrum kryzysowym zawiadującym tzw. systemem SPEEDI (*System for Predicting Environmental Emergency Dose Information*), którego zadaniem jest między innymi prognozowanie rozprzestrzeniania się substancji radioaktywnych. Dane z systemu SPEEDI nie były wykorzystywane w rozporządzeniach o ewakuacji, które były niedokładne i nie docierały do władz lokalnych. Podobnie nieprzejrzysty był system informowania społeczeństwa.

Japońska Komisja Energii Atomowej (*Japan Atomic Energy Commission - JAEC*) 13 grudnia 2011 r. opublikowała zalecenia dalszego postępowania przy usuwaniu skutków katastrofy, zalecając między innymi, by rząd:

- przejął pełną odpowiedzialność za usuwanie skutków katastrofy do czasu całkowitej dekontaminacji terenu zaczynając od wprowadzenia odpowiedniego systemu i infrastruktury, jak również systemu bezpieczeństwa nadzorowanego przez TEPCO i prowadzenie społecznej, pełnej, przejrzystej akcji informacyjnej o podjętych działaniach,
- zobowiązał TEPCO do przygotowania i wprowadzenia planów ochrony radiologicznej i innych pokrewnych działań po pełnej konsultacji i akceptacji organów odpowiedzialnych za bezpieczeństwo,
- przejął pełną koordynację nad zabezpieczeniem działań przed nierozprzestrzenianiem materiałów jądrowych we współpracy z organizacjami międzynarodowymi, głównie MAEA,
- ustanowił niezależną „trzecią” organizację kontrolującą te działania,
- podjął średnio- i długoterminowe działania, umożliwiające rozwój przemysłowy regionu w przyszłości, jak również wykorzystanie jego zasobów.

Osobnym problemem było przygotowanie „mapy drogowej” w celu usuwania radiologicznych skutków awarii bezpośrednio u jej źródła tzn. w elektrowni Fukushima Dai-ichi. Pierwszym i podstawowym celem usuwania skutków było osiągnięcie stabilnych warunków chłodzenia reaktorów i paliwa zmagazynowanego w basenach oraz ograniczenie emisji pierwiastków pro-



Rys. 2. System oczyszczania skażonej radioaktywnie wody opracowany przez Toshiba

mieniotwórczych tak, by ewakuowana bezpośrednio po awarii ludność mogła powrócić do miejsc swojego zamieszkania. Pierwszym i zasadniczym celem usuwania skutków awarii było osiągnięcie tzw. stanu zimnego wyłączenia reaktora, tzn. stanu, w którym temperatura rdzenia spadnie poniżej 100°C. Stan ten osiągnięto we wrześniu 2011 r., a pełną stabilizację temperatury reaktorów i basenów wypalonego paliwa w styczniu 2012 r.

Uszkodzenie systemu awaryjnego chłodzenia oraz możliwość wystąpienia stanu krytycznego wymusiły konieczność użycia do bezpośredniego chłodzenia reaktorów wody morskiej z dodatkiem kwasu borsowego, umożliwiającego absorpcję neutronów. Użycie wody morskiej do chłodzenia, konieczne w początkowej fazie, spowodowało osadzenie się 26 ton soli w reaktorze 1. Sól, osadzając się na ściankach rur systemu chłodzenia, zmniejszała wydajność przepływu, a tym samym zmniejszała skuteczność dalszego chłodzenia. Dlatego też konieczne było jak najszybsze wprowadzenie do obiegu wody słodkiej, której zapasy w elektrowni były ograniczone. Chłodzenie wodą słodką nastąpiło dopiero po ok. 12 dniach od początku awarii, z uwagi na konieczność dostarczania jej barkami marynarki wojennej Stanów Zjednoczonych. 19 kwietnia 2011 r.

podjęto decyzję budowy systemu oczyszczania i magazynowania skażonej wody. Budowy takiego systemu o wielkiej wydajności, wykorzystującego najczęściej stosowane metody oczyszczania, podjęło się kilka firm.

W lipcu firma Toshiba zaoferowała nowy system oczyszczania pod nazwą SARRY (*Simplified Active Water Retrieve and Recovery System*) proponując jego uruchomienie równolegle do już zainstalowanego systemu. Osiągnięty współczynnik dekontaminacji dla cezu wynosi $DF=50\,000$. Planowane jest uruchomienie jeszcze dwóch takich urządzeń (rys. 2).

W czasie posiedzenia Komitetu Szybkiego Reagowania w wypadku Awarii Jądrowych, (16 grudnia 2011 r.) pod przewodnictwem premiera Yoshihiko Nody oświadczono, że sytuacja w elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi została opanowana, ponieważ osiągnięto stan zimnego wyłączenia. Stan taki pozwala zdjąć pokrywę reaktora, tzn. otworzyć reaktor w warunkach normalnego ciśnienia atmosferycznego.

Osiągnięcie stanu zimnego wyłączenia zakończyło pierwszy i bardzo trudny etap przedstawionej przez TEPCO (*Tokyo Electric Power Company*) w kwietniu „mapy drogowej” usuwania skutków awarii. Jednym z celów tego etapu było ograniczenie emisji substancji

promieniotwórczych do środowiska. Prace nad zabezpieczeniem zniszczonych budynków reaktorów rozpoczęto w sierpniu 2011 r. TEPCO postanowiło przykryć, a właściwie obudować, budynki reaktorów szczelnym, ogniotrwałym, plastikowym „namiotem”, rozpiętym na stalowej konstrukcji, wyposażonym w systemy wentylacyjne. Celem ustawienia takiej konstrukcji jest zatrzymanie uwalnianych substancji promieniotwórczych i ich kontrola. Konstrukcja namiotów jest monitorowana przez systemy czujników ciśnienia, wilgotności, temperatury pozwalające sprawdzać szczelność, kamery, detektory promieniowania itd.

Nowatorskim przedsięwzięciem jest sprawdzenie przed otwarciem pokrywy stanu reaktora przy pomocy metody endoskopowej. Spodziewając się nadtopienia rdzenia, co mogło uszkodzić różne elementy wewnątrz obudowy ciśnieniowej, postanowiono wprowadzić kamerę do wnętrza reaktora Nr 2. Średnica kamery odpornej na promieniowanie i temperaturę (wraz oświetleniem) oraz 10 metrowego kabla wynoszą 8 mm. Prace rozpoczęto w styczniu 2012 r. Są to przygotowania do usunięcia stopionego rdzenia i demontażu reaktorów. Przewiduje się, że do pełnego demontażu najbardziej niebezpiecznych elementów będą używane specjalnie do tego celu zaprojektowane roboty.

W drugim etapie proponowanej „mapy drogowej”, przewidzianym do realizacji w ciągu dwóch lat planuje się:

- stopniowe usuwanie paliwa z basenów wypalonego paliwa (w bloku 4 w okresie 2 lat),
- obniżenie poziomu promieniowania, na terenie elektrowni, pochodzącego z wtórnych źródeł (odpadów powstałych w czasie dekontaminacji, oczyszczania ścieków itp.) do poziomu 1 mSv/rok,
- utrzymywanie i ulepszanie systemów chłodzenia reaktorów i basenów wypalonego paliwa,
- prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod dekontaminacji i sposobu usuwania nadtopionego paliwa w rdzeniach,
- prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod utylizacji odpadów radioaktywnych i ich składowaniem.

W trzecim etapie proponowanej „mapy drogowej”, przewidzianym do realizacji w ciągu 10 lat planuje się:

- całkowite usunięcie paliwa z rdzeni reaktorów i basenów we wszystkich blokach,
- zakończenie przygotowań do usunięcia szczątków paliwa, zakończenie dekontaminacji wnętrza budynków, dekontaminacji i zalania wodą obudów bezpieczeństwa reaktorów i ostateczne usunięcie paliwa (ostateczny termin 10 lat),
- kontynuację ulepszania systemów chłodzenia reaktora

ów i basenów wypalonego paliwa i podtrzymywanie chłodzenia,

- zakończenie utylizacji odpadów ciekłych,
- kontynuację prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod utylizacji odpadów radioaktywnych i ich składowaniem oraz rozpoczęcie prac badawczo-rozwojowych nad opracowaniem metod likwidacji reaktorów.

W czwartym etapie proponowanej „mapy drogowej”, przewidzianym do realizacji w ciągu 30-40 lat planuje się:

- ostateczne zakończenie procesu usuwania paliwa (20-25 lat),
- ostateczną likwidację reaktorów,
- utylizację odpadów.

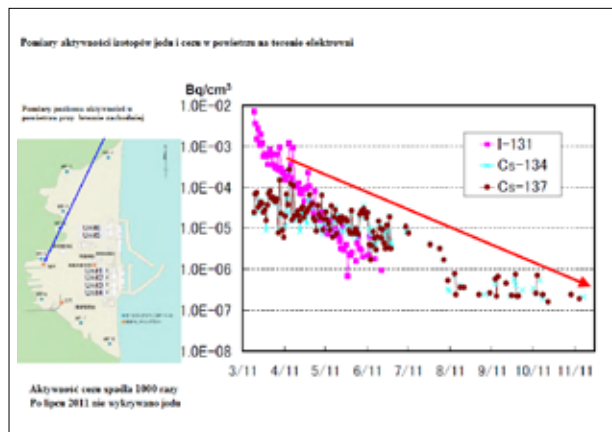
Wszystkim tym działaniom towarzyszyć będą szkolenia pracowników i stałe poprawianie bezpieczeństwa ich pracy.

Najbardziej narażeni na działanie promieniowania są pracownicy elektrowni, ekipy pomocnicze pomagające przy opanowywaniu awarii oraz ekipy zatrudnione przy pracach porządkowych usuwających skutki trzęsienia ziemi. Jak już wspomniano w normalnych warunkach pracy elektrowni maksymalna dopuszczalna dawka pracowników narażonych na promieniowanie nie może przekroczyć 100 mSv/5 lat. W warunkach zagrożenia, japońskie normy przewidywały w sytuacjach awaryjnych „jednorazowe narażenie” do 100 mSv. Wyjątkowo w Fukushima dopuszczono 250 mSv. Jest to poziom dwukrotnie mniejszy od dopuszczanego przez Światową Organizację Zdrowia.

Prace dekontaminacyjne pozwoliły osiągnąć obecnie w granicach elektrowni dawkę roczną nie przekraczającą 0,1 mSv. Zmiany aktywności izotopów cezu i jodu na terenie elektrowni na przykładzie pomiarów wykonanych przy bramie zachodniej przedstawiono na rys. 3.

W związku z postępującą normalizacją na terenie elektrowni Fukushima Dai-ichi rząd japoński postanowił zmienić zasady dotyczące stref ewakuacji, a ściślej możliwości powrotu ludności na wybrane obszary. Ostateczne decyzje zostaną podjęte w 2012 r. Chcąc przyspieszyć proces rekultywacji zniszczonych terenów przygotowano wieloetapowy program usuwania skutków trzęsienia ziemi, w dużej mierze oparty na wcześniejszych bogatych doświadczeniach krajowych, dodatkowo uzupełniony o konieczność dekontaminacji terenu, zabudowań i lasów. Zakończeniem tego procesu będzie, wg założeń programu rządowego, powrót mieszkańców do swoich domów. Rząd jest zobowiązany do przygotowania kolejnej „mapy drogowej” przeprowadzenia dekontaminacji skażonych obszarów.

Przewiduje się wprowadzenie trzech stref w za-



Rys. 3. Zmiany aktywności izotopów cezu i jodu na terenie elektrowni na przykładzie pomiarów wykonanych przy bramie zachodniej (prezentacja Ken Shimizu TEPCO)

leżności od poziomu promieniowania. W obszarach w których moc dawki promieniowania jest mniejsza niż 20 mSv/rok rząd podejmuje starania o jak najszybszy powrót mieszkańców do swoich domów. W obszarach, gdzie moc dawki może przekroczyć 20 mSv/rok, zalecane jest powstrzymanie się od powrotu. W obszarach, gdzie moc dawki przekracza 50 mSv/rok, powrót jest zabroniony. Określenie stref nastąpiło w marcu 2012 r. i jest prowadzone w porozumieniu z władzami lokalnymi. Całkowitym zakazem powrotu objęty jest obszar w odległości 3 km od elektrowni. Oczywiście decyzje te nie spotykają się z pełną aprobatą mieszkańców ewakuowanych terenów, żądających jak najszybszego umożliwienia im powrotu do normalnego życia, a w przypadku zakazu powrotu umożliwienie nowego startu w innej lokalizacji. Na rys. 5 przedstawiono projekt dekontaminacji obszarów objętych ewakuacją. Do określenia poziomu promieniowania pomiary wykonywane są w powietrzu na wysokości 1m.

Ponieważ powrót ewakuowanych ludzi do swoich domów zależy od wielu czynników, rząd prowadzi spotkania wyjaśniające przedstawiając terminarz prac mających się rozpocząć na początku czerwca 2012 uwzględniając przyjętą kolejność dekontaminacji (priorytety mają szlaki komunikacyjne) napotykanego trudności to np. niektóre obszary nawet w najmniej skażonej strefie wymagają specjalnych czynności takich jak usunięcie porowatych powierzchni w asfalcie, czy betonie. Właściciele gruntów i domów są proszeni o wyrażenie zgody na penetrację ich obejść przez ekipy dekontaminujące. Innym problemem, szczególnie w rejonach o większym skażeniu, jest zapewnienie bezpieczeństwa pracy ludzi zatrudnionych bezpośrednio przy usuwaniu zanieczyszczeń (odpowiedniej odzieży ochronnej, skrócenie czasu pracy itp.). Dekontaminacja najmniej skażonych (poniżej 10 mSv/rok) terenów łącznie z de-

kontaminacją gleby powinna zakończyć się w grudniu 2012 r., a terenów o skażeniu 20 mSv/rok przed marcem 2014 r.. Do marca 2014 r. powinna zakończyć się również dekontaminacja niezamieszkałych terenów o skażeniu pomiędzy 20 a 50 mSv/rok. Na terenach, gdzie zanotowano skażenie powyżej 50 mSv/rok na razie będą prowadzone prace badawcze i trudno jest zaprojektować szczegółowy plan prac.

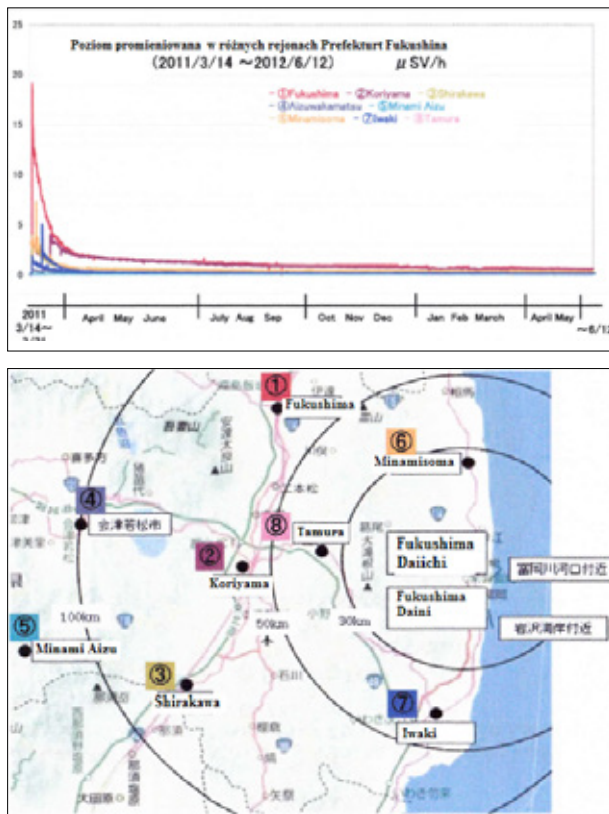
Przewiduje się, że proces całkowitego usunięcia zniszczeń w elektrowni może potrwać od 30 do 40 lat. Proces odnowy środowiska może być krótszy, ponieważ jest wspomagany przez zjawiska naturalne, np.: opady powodujące wymywanie skażonej gleby do rzek, krótki czas połowicznego rozpadu niektórych pierwiastków, zmniejszenie ich koncentracji na skutek różnych działań, jak np. odbudowa dróg, wymagająca wielu prac ziemnych.

Od 1 stycznia 2012 r. w Japonii weszła w życie regulacja dotycząca dekontaminacji obszarów skażonych w wyniku awarii elektrowni Fukushima Dai-ichi. Niektóre koncerny oferują opracowanie specjalnych przeznaczonych do tego celu urządzeń, których konstrukcja została wstępnie przetestowana na terenie elektrowni. Urządzenie do dekontaminacji i oczyszczania może dziennie usuwać 97% substancji radioaktywnych z 1,7 ton skażonej gleby i mułu. Inne oferowane i sprawdzone urządzenie może usuwać nisko aktywne substancje z wody w zbiornikach i kanalizacji. Zainteresowanie tymi urządzeniami wykazały przede wszystkim ośrodki przemysłowe i niektóre władze regionalne. Toshiba opracowuje bardziej ekonomiczne i nowsze rozwiązanie o zwiększonej wydajności.

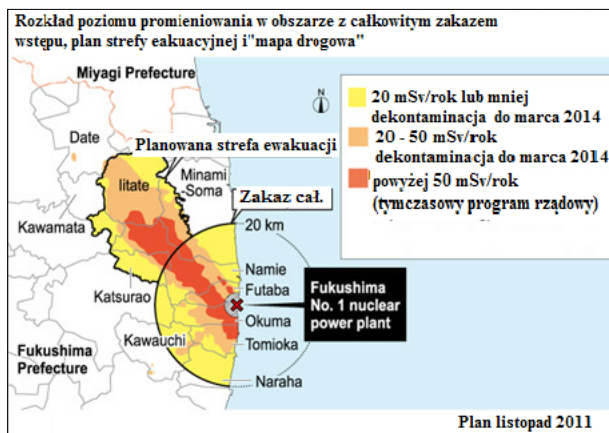
W Japonii proponuje się utworzyć w pobliżu miejscowości Futaba na północny zachód od elektrowni Fukushima, (jeden z najbardziej skażonych terenów) czasowe składowisko odpadów dekontaminacji z innych terenów. Rozpoczęto negocjacje z władzami lokalnymi i dyskusję społeczną. Proponowany jest państwowy wykup terenu. W Prefekturze Fukushima 80% powierzchni wymaga dekontaminacji. Rząd będzie pokrywał część kosztów dekontaminacji w obszarach, w których moc dawki przewyższa 0,23 μ Sv/h oraz poniesie kosztów oczyszczania z mułu, którego aktywność osiąga 8 000 Bq/kg. Postanowiono również wytypować priorytetowe miejsca dekontaminacji.

Obecnie funkcjonują już rozległe, gęste sieci monitoringu, obserwujące zmiany poziomu promieniowania różnych rejonach strefy ewakuacji i poza nią. Badane są poziomy promieniowania w powietrzu, glebie, wodach (rzeki, ocean), w lasach, polach uprawnych (szczególnie ryżu). Kontrolowana jest też żywność, pobierane są próbki organizmów żywych (roślin, owadów, ryb, zwie-

rząt hodowlanych). Obserwowany jest powolny postęp, ale nadal często wykrywane są „gorące plamy” o znacznej podwyższonej aktywności (rys. 4).



Rys. 4. Poziom promieniowania w różnych miejscach Prefektury Fukushima (JAIF)



Rys. 5. Rozkład poziomu promieniowania w obszarach ewakuacyjnych (Asahi)

Wiele elementów nie zostało jeszcze do końca wyjaśnionych np.: pojawienie się w początkowych chwilach awarii śladowych ilości izotopów strontu S^{90} , plutonu (P^{238} , P^{239} , P^{240} i P^{241} – ok. 50g) neptunu Np^{239} – 1mg, teluru Te^{129} obecnie trudno wykrywalnych. Wyniki pomiarów zgodnie z ustaleniami o przejrzystości informacji są po-

dawane w codziennych biuletynach.

Eksperymentalną dekontaminację wybranych obiektów rozpoczęto 18 listopada 2011 r. Wstępnie oczyszczono 4 budynki władz regionalnych. Do dekontaminacji powołano 900 wyspecjalizowanych zespołów. Do oczyszczenia przewidziano 110 000 budynków i oczekuje się na zgodę właścicieli na jej przeprowadzenie. Mobilne zespoły dekontaminacyjne są wyposażone w przewożne urządzenia dozymetryczne pozwalające sprawdzać, czy pracownicy zespołów nie zostali skażeni (tzw. liczniki skażeń całego ciała) oraz urządzenia do dekontaminacji odzieży ochronnej.

Od chwili awarii w całej skażonej okolicy (w promieniu 30 km od centrum źródła skażeń czyli elektrowni Fukushima Dai-ichi), prowadzone są systematyczne pomiary poziomu promieniowania powietrza, gleby oraz wód. Obserwowana jest wyraźna tendencja spadkowa. Tym niemniej w wątpliwych rejonach szkoły pozostają zamknięte i tam wszędzie zostały dostarczone dozymetry.

Władze lokalne rozpoczęły i prowadzą badania tarczycy 360 000 młodzieży do lat 18 zamieszkałej w prefekturze Fukushima. Przebadane osoby pozostaną pod obserwacją do końca życia. Od chwili awarii przebadano około 2 000 000 ludzi w miastach i wioskach nawet w promieniu do 50 km od elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi. Nie stwierdzono poważniejszych przypadków napromieniowania (97% badanej populacji była narażona na dawkę poniżej 5 mSv). Podjęto obserwację i badania 25 000 dzieci urodzonych w tym rejonie, w tym czasie, które pozostaną pod obserwacją do osiągnięcia dojrzałości. Publikowane są regularnie mapy pokazujące rozprzestrzenienie się różnych izotopów pierwiastków Cs, J, Pu, Sr, Cu, Te, które były wykryte w glebie wokół Fukushima. Obecnie zabrania się upraw ryżu w tych rejonach. Prowadzone są stałe badania żywności, monitorowane są hodowle bydła, zbiorniki wody pitnej, lasy oraz wody przybrzeżne.

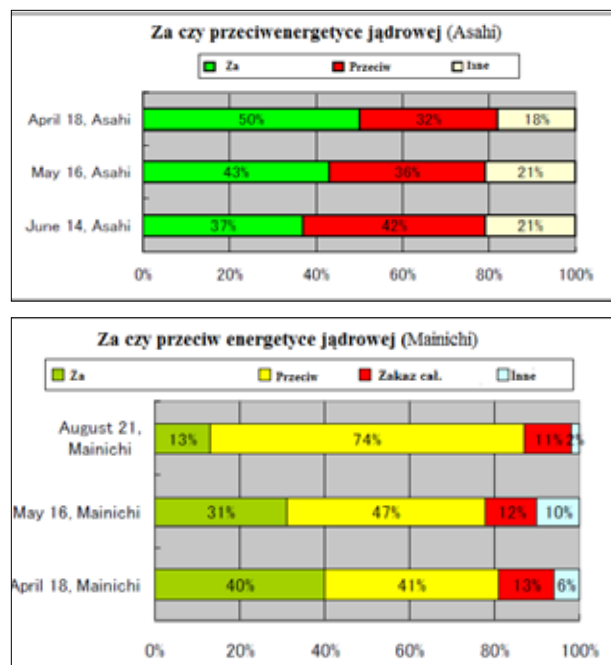
Rząd Japonii postanowił w ciągu kilku lat (do 2015 r.) rozmieścić na dnie oceanu w najbardziej prawdopodobnych miejscach występowania trzęsień ziemi, podwodne czujniki sejsmiczne, oparte o hydrociśnieniowe detektory, tzw. czujniki tsunami. Docelowo planowane jest okążenie całej Japonii podobnymi czujnikami umieszczanymi nawet 400 km od jej brzegu. Najwięcej tych czujników znajdzie się w okolicy prefektur Miyagi i Fukushima.

Rozwijająca się dynamicznie gospodarka Japonii wymaga stałych i stabilnych dostaw energii. Japonia jest zmuszona do importu około 80% potrzebnych surowców energetycznych. Dodatkowo, położenie na wyspach uniemożliwia sprowadzanie energii z państw

sąsiednich. Po ostatniej awarii w Fukushima stopień akceptacji społecznej dla energetyki jądrowej, mimo zrozumienia konieczności kontynuowania dotychczasowej polityki energetycznej, wyraźnie zmalał, co przedstawiono na rys. 6.

Należy podkreślić, że ogrom prac organizacyjnych, naukowych (rozwiązanie problemu oczyszczania wody w elektrowni), technologicznych, legislacyjnych oraz kontrolnych, które zostały wykonane od czasu awarii jest imponujący. Obecnie przed rządem Japonii stoi nowe, niezwykle trudne wyzwanie, ponownego przekonania społeczeństwa do energetyki jądrowej. Dyskutowana jest ustawa ograniczająca wydawanie licencji na eksploatację elektrowni jądrowej do 40 lat z ograniczoną możliwością przedłużenia. Rozpoczęto również kontrolę wszystkich japońskich elektrowni jądrowych. Kontrole mają być ukończone do końca marca 2012 r. W chwili obecnej z uwagi na ograniczoną liczbę pracujących reaktorów w niektórych rejonach odczuwane są braki energii.

Prowadzone są też dyskusje i wstępne prace nad uniezależnieniem się od energetyki jądrowej.



Rys. 6. Statystyki poparcia energetyki jądrowej (Asahi Shinbun, Maonichi)

dr inż. Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów
Na Rzecz Energii Jądrowej,
Warszawa

Literatura:

1. IAEA, "Safety Guides Classification of radioactive Waste" RADWASS Programme 1994
2. IAEA –TECDOC- 1336, „Combined methods for radioactive waste treatment”, 2003
3. K. Rzymkowski, „Postępowanie z odpadami ciekłymi w elektrowniach jądrowych”, PTJ Nr3 Warszawa 2011
4. K. Rzymkowski, „Usuwanie skutków katastrofy ekologicznej wywołanej falą tsunami” Ekoatom Luty- Marzec 4/1, Warszawa 2012
5. V. M. Efremenkov, "Radioactive Waste Management at Nuclear Power Plants", IAEA Bulletin 4/1989
6. World Nuclear Association 2007 Nuclear Power In Japan
7. www.IAEA.org
8. www.tepco.co.jp
9. Raport IAEA 2008
10. www.jaif
11. www.ajw.ashi.com

PROFESOR SUEO MACHI O SYTUACJI W JAPONII PÓŁTORA ROKU PO AWARII W FUKUSHIMIE

Stanisław Latek

Prof. Sueo Machi, znany japoński ekspert z zakresu technologii i energetyki jądrowej, był dyrektorem Japońskiego Instytutu Badań nad Energią Atomową (JAERI), wieloletni wicedyrektor Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, członek Japońskiej Agencji Energii Atomowej oraz członek honorowy Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego podczas ostatniego pobytu w Polsce w październiku br. wygłosił dla różnych środowisk „jądrowych” referat na temat kierunków zmian w energetyce jądrowej oraz o tym czego nauczyła nas awaria w Fukushima („Trends of Nuclear Power and Lessons Learned from Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station Accident”).

W pierwszej części wykładu prof. S. Machi przypomniał ostatnie, najważniejsze decyzje rządu Japonii z dziedziny energetyki jądrowej i poinformował o nadchodzących wydarzeniach.

Zdaniem Sueo Machi na szczególną uwagę zasługuje utworzenie nowego niezależnego urzędu dozoru. Urząd ten powstały 20 września jest całkowicie niezależny od instytucji promujących energetykę jądrową. *Nuclear Regulatory Agency* jest organem podległym 5-osobowej *Nuclear Regulatory Commission*, która z kolei podlega ministrowi środowiska. Przewiduje się, że w NRA zatrudnionych będzie ok. 1000 pracowników. Inne - ważne inicjatywy i zamierzenia polegają na wprowadzeniu nowych przepisów odnoszących się do radioaktywnych skażeń żywności oraz na nowelizacji ustawy o dozorcze jądrowym (*Nuclear Regulation Law*).

Rząd Japonii podjął też ważne decyzje finansowe. W szczególności przeznaczył łącznie kilkanaście milionów euro na pomoc dla MAEA na realizację programów agencji dotyczących bezpieczeństwa jądrowego. Dotyczy to m.in. zadania: „IAEA Nuclear Safety Action Plan” realizowanego w latach 2011-2012.

W grudniu bieżącego roku będzie zorganizowana w Fukushima konferencja na temat: “Fukushima Ministerial Conference on Nuclear Safety”.

Organizowanie wielu różnych konferencji pozwala na spotkanie licznej grupy ekspertów branżowych i umożliwia wyciągnięcie wniosków odnoszących się

pośrednio lub bezpośrednio do przyczyn awarii w Fukushima, a dokładniej do sposobów uniknięcia podobnych awarii w przyszłości.

Pierwsza grupa tych wniosków dotyczy uniknięcia utraty zasilania elektrycznego z sieci zewnętrznej. Zdaniem ekspertów należy:

- dysponować niezawodnym, odpornym na trzęsienie ziemi zasilaniem z sieci zewnętrznej;
- posiadać odporne na trzęsienie ziemi stacje przełącznikowe;
- zapewnić szybkie przywracanie zasilania zewnętrznego.

Jeśli chodzi o zasilanie z urządzeń znajdujących się na terenie elektrowni, to konkluzje są następujące:

- generatory przeznaczone do zasilania elektrowni w sytuacjach awaryjnych, zbiorniki paliwa, pompy powinny być zlokalizowane w miejscu możliwie, jak najwyższym w stosunku do poziomu morza albo zabezpieczone wodoszczelnymi osłonami;
- generatory i urządzenia przekątnikowe powinny być wodoszczelne;
- należy zastosować redundancję systemów zasilania awaryjnego;
- należy zapewnić jak najwyższą niezawodność zasilania prądem stałym.

Kolejną grupą wniosków, a raczej rekomendacji są te, których wdrożenie uniemożliwia eksplozję wodoru:

- posiadanie alternatywnego/zastępczego systemu chłodzenia rdzenia wstrzykiwaną wodą;
- dysponowanie niezawodnym i dobrze sterowanym systemem wentylacyjnym wykorzystywanym w głównym zbiorniku osłonowym (Primary Containment Vessel - PCV);
- posiadanie systemu umożliwiającego usuwanie substancji promieniotwórczych z gazów znajdujących się w systemie wentylacji;
- zastosowanie niezawodnych – przy wysokiej temperaturze - uszczelek przy górnym kołnierzu zbiornika PCV;
- niezawodność urządzenia wychwytyjącego wodór w PCV;

- niezawodność systemu chłodzenia zbiornika wypalonego paliwa.

Ostatnia grupa wniosków i zaleceń zebranych i zestawionych przez prof. Machiego dotyczy ulepszenia komunikacji oraz oprzyrządowania posiadanego przez kadrę zarządzającą w sytuacji awaryjnej. Oto te zalecenia:

- ulepszenie i wzmocnienie linii „dowódczej” wykorzystywanej w sytuacji awaryjnej;
- posiadanie niezawodnych narzędzi komunikowania w przypadku wydarzeń nadzwyczajnych;
- dysponowanie odpowiednimi i niezawodnymi urządzeniami do monitorowania (w przypadku awarii);
- solidny system obserwowania parametrów pracy elektrowni;
- solidny system monitorowania poziomów promieniowania;
- skuteczny system szkolenia i właściwa struktura systemu reagowania na sytuację awaryjną.

W dalszej części swojej prezentacji ekspert z Japonii przypomniał przyjęte podczas awarii w Fukushima limity dawek zastosowane wobec pracowników elektrowni i służb ratowniczych, a następnie scharakteryzował przyjęty przez władze Japonii długofalowy plan demontażu elektrowni Fukushima-1.

S. Machi podał również wielkości mocy dawki promieniowania na terenach wokół elektrowni Dai-ichi jakie występowały w dniu 9 października b.r. oraz przedstawił plan rządowy (*road map*) dotyczący dekontaminacji terenów najbardziej skażonych (na rok 2013 i lata następne). [Więcej na ten temat mogą Państwo znaleźć w artykule dra Krzysztofa Rzymkowskiego, publikowanym w tym numerze PTJ].

Pierwszą część swojego wystąpienia S. Machi zakończył przytoczeniem opinii obecnego dyrektora generalnego MAEA Yukiya Amano (z pochodzenia Japończyka), który stwierdził, że awaria w Fukushima spowodowana została przez:

1. Wady/braki projektu nieuwzględniającego odporności konstrukcji na wystąpienie poważnych klęsk żywiołowych;
2. Niedostateczne wyszkolenie personelu w zakresie postępowania w sytuacji wystąpienia awarii;
3. Niewłaściwy system sterowania w sytuacji awaryjnej.

Druga część wykładu prof. Sueo Machi poświęcona była polityce energetycznej Japonii po awarii w elektrowni Fukushima Dai-ichi.

W Japonii rząd jest odpowiedzialny za strategiczne planowanie w zakresie zapotrzebowania i zaopatrzenie/dostawę energii. Polityka energetyczna oparta jest na poszanowaniu trzech zasad:

- bezpieczeństwo energetyczne i stabilność dostaw energii;

- kompatybilność ze środowiskiem;

- konkurencyjność ekonomiczna.

Przed awarią w Fukushima w planach rozwoju energetyki przewidywano m.in. budowę 14 elektrowni jądrowych do roku 2030, co oznaczało 53% udział energetyki jądrowej w produkcji energii elektrycznej (w roku 2009 udział sektora jądrowego w produkcji energii elektrycznej wynosił 29%). W 2030 r. 70% energii miało pochodzić ze źródeł nie emitujących CO₂.

We wrześniu 2012 r. pracowały w Japonii tylko 2 spośród 50-ciu japońskich jądrowych bloków energetycznych. Kolejne 2 są budowane, a 7 jest w trakcie *decommissioningu*.

Premier Japonii Yoshihiko Noda oświadczył niedawno, że jego kraj musi poprawić stan bezpieczeństwa jądrowego, aby osiągnąć najwyższy światowy poziom. Elektrownie jądrowe będą nadal wykorzystywane. Japonia będzie się dzielić ze wspólnotą międzynarodową swoimi doświadczeniami zdobytymi podczas awarii w Fukushima.

Podejmowane są prace mające na celu przygotowanie szczegółowego planu wykorzystania energetyki jądrowej w Japonii. Opracowano kilka opcji dla tzw. *Energy Mix (Nuclear, Fossil, Renewable)*, które przewidują różne udziały poszczególnych źródeł energii w krajowym bilansie energetycznym. Żadna z opcji nie przewiduje zwiększenia udziału energii jądrowej w owym „mix”ie poza poziom sprzed awarii fukushimskiej.

Po licznych debatach publicznych 14 września 2012 r. rząd Japonii zaprezentował strategię dotyczącą energii i środowiska „Strategy on Energy & Environment”, w której zapisano m.in.:

- elektrownie jądrowe będą stopniowo włączane do sieci, ale muszą wcześniej uzyskać na to zgodę dozoru jądrowego;
- nastąpi zmniejszenie zależności energetyki od energii jądrowej i paliw kopalnych poprzez większe wykorzystanie źródeł odnawialnych;
- czas życia elektrowni jądrowych nie może przekraczać 40 lat;
- nie będą budowane nowe elektrownie jądrowe;
- rozpoczęte wcześniej budowy EJ będą kontynuowane.
- praca zakładów przerabiających wypalone paliwo będzie kontynuowana;
- Japonia będzie kontynuować i intensyfikować współpracę międzynarodową, której celem jest zwiększenie bezpieczeństwa jądrowego i oferowanie technologii jądrowych innym krajom;
- nastąpi potrojenie wykorzystania energii ze źródeł odnawialnych.

Realizowanie tej strategii ma następować powoli; władze będą monitorować i analizować sytuację społeczną, opinie społeczności lokalnych, sytuację na międzynarodowych rynkach energii i w zależności od wyników tych analiz wdrażać przedstawioną strategię.

S. Machi podkreślił, że nowa strategia w obszarze "energia i środowisko" będzie realizowana nie bez trudności. Wskazał na ogrom zadań (35% energii ze źródeł odnawialnych!), bardzo wysokie koszty tej operacji, niski wskaźnik wykorzystania dla energii słonecznej i wiatrowej, realna możliwość zwiększenia ceny energii dla konsumentów przemysłowych i odbiorców indywidualnych, co może obniżyć konkurencyjność towarów japońskich, zwłaszcza eksportowanych.

Kolejne zagrożenie to, trudność w zapewnieniu stabilnego zasilania w sytuacji wyłączenia źródeł stałej mocy, a więc elektrowni węglowych i jądrowych.

Prof. Machi przytoczył także opinie ekspertów, specjalistów instytucji międzynarodowych i polityków, które wskazują na zalety i perspektywy rozwoju energetyki jądrowej w wielu krajach świata i ostrzegają Japonię przed wielkimi wyzwaniem dla japońskiej gospodarki w sytuacji zasadniczego ograniczenia wykorzystania przez ten kraj energetyki jądrowej.

Dopiero pod koniec swojego wystąpienia S. Machi przedstawił dane dotyczące postaw społecznych Japończyków wobec energetyki jądrowej w roku 2011

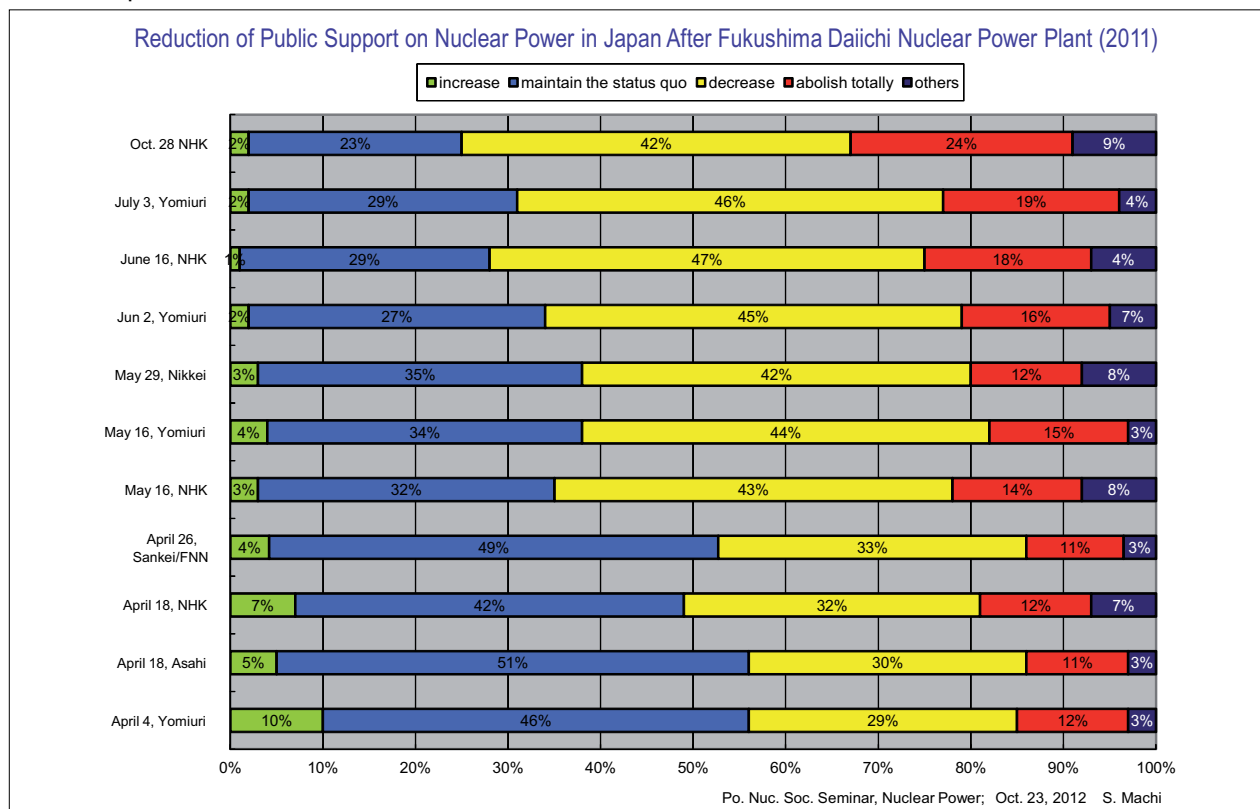
(czyli w roku, w którym wydarzyła się awaria). Tabela 1 pokazuje wyraźny i zwiększający się spadek poparcia dla tej formy wykorzystania energii. Szkoda, że nie przedstawiona została głębsza analiza tego ważnego społecznego wydarzenia.

W konkluzji autor prezentacji stwierdził, że energia jądrowa jest niezbędna dla zapewnienia Japonii bezpieczeństwa energetycznego w sposób zrównoważony. Energia jądrowa powinna być wykorzystywana łącznie z innymi źródłami, przy założeniu, że wyciągnięte zostaną wszystkie wnioski jakie wynikają z awarii w Fukushima. Powinny być podjęte wszelkie wysiłki w celu poinformowania społeczeństwa zarówno o kwestii bezpieczeństwa elektrowni jądrowych, jak również o konieczności ich wykorzystywania.

Japonia powinna kontynuować aktywną współpracę międzynarodową mającą na celu rozwój energetycznych programów jądrowych poprzez zapewnienie wsparcia dla rozwoju infrastruktury, zasobów ludzkich i oferowanie najbardziej zaawansowanych bezpiecznych technologii jądrowych.

dr Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Tabela 1. Spadek poparcia społecznego dla energetyki jądrowej w Japonii po awarii w Fukushima w okresie kwiecień - październik 2011 r.



KONSTRUKTOR BRONI JĄDROWEJ – ZAWÓD NIEBEZPIECZNY?

Zbigniew P. Zagórski

Od pewnego czasu trwające polowanie na irańskich pracowników przemysłu jądrowego każe spojrzeć ogólnie na sprawę, z punktu widzenia historycznego, zwłaszcza w świetle ostatnich odtajnień amerykańskich, które przypominają jak to było na początku ery atomowej. Zamachy w Iranie są zadziwiające, jeżeli patrzeć na ich organizację. To, że środowisko temu sprzyja, bo bez współpracy lokalnej nie byłoby możliwe zorganizowanie egzekucji na ulicy. Zlecniodawcy i wykonawcy najwyraźniej nie lubią władzy, a egzekutorzy na pewno lubią, oprócz tego pieniądze. A więc mamy z jednej strony sprawność organizacji zamachu i to na terenie obcego i to wrogiego państwa, a z drugiej strony niedowład organizacyjny i techniczny państwa, które dopuszcza do takich kolejnych zamachów na swoim terenie. Obserwując obecne zmagania wokół bomby atomowej w Zachodniej Azji (proponuję taką nazwę zamiast Bliskiego Wschodu) widzimy, że strony uwikłane muszą przerabiać to, co już inni przerabiali w XX wieku.

Okazuje się z ujawnień amerykańskich, że do podobnych zdarzeń mogło dojść już w latach czterdziestych ubiegłego wieku. Pobyt i rozmowy Heisenberga, kierownika niemieckiego programu atomowego, z Nielsem Bohrem w Kopenhadze w 1941 r., przypominane do dziś w teatrach były niewątpliwie ostrzeżeniem dla wolnego świata, że Niemcy szykują broń jądrową. Spójrzmy co było dalej, czego nie ma w teatrze, w sztuce Frayna z 1998 r., do dziś popularnej w Polsce. Bohrowi udało się uciec z Danii we wrześniu 1943 r., a w grudniu tego samego roku był już w pociągu, w dwudniowej podróży kolejowej wraz z generałem Leslie Groves'em kierownikiem projektu Manhattan, z Chicago do Lamy, w pobliże Los Alamos. (Dziś na tej linii nie ma już pociągów pasażerskich, a do Los Alamos podróżuje się samolotem do Albuquerque i dalej na północ samochodem). Groves podobno miał początkowo opory, ale dał się przekonać przed wyjściem z pociągu, że coś trzeba zrobić z Heisenbergiem. Nie dziwny się posunięć brutalnych – to była walka na śmierć lub życie. Jest zadziwiającą rzeczą, że władze niemieckie pozwalały Heisenbergowi na podróże naukowe do sąsiadującej

Szwajcarii. Wygłaszał tam chętnie wysłuchiwane znakomite referaty, cenne dla tamtejszych fizyków teoretyków. Najwidoczniej Heisenberg nie znajdował się na niemieckiej państwowej liście osób chronionych co odpowiada wiadomemu, lekceważącemu stosunkowi do propozycji broni jądrowej, jaką reprezentował Speer z powodu niewielkiej, jak on oceniał, żądanej przez fachowców sumy na badania.

Pierwszą wersją OSS, czyli amerykańskich służb, jak to się dziś nazywa, była propozycja porwania Heisenberga z Szwajcarii. Propozycja była atrakcyjna, bo można, by coś wydostać od porwanego o stanie zaawansowania prac niemieckich przy konstruowaniu bomby. Przewidywane trudności były ogromne i nie można było obyć się bez włączenia Szwajcarów do akcji. Przeważał projekt inny, wysłania do Szwajcarii egzekutora, który miał uczestniczyć w wykładach Heisenberga i jeżeli ten ujawniłby coś o postępach wskazujących na bliskie ukończenie prac – zastrzelić go! Egzekutor, oficer OSS, niejaki Moe Berg skądinąd znakomity chwytacz-catcher czołowej drużyny bejsbolu, znający niemiecki i fizykę doszedł do wniosku, że Heisenberg niczego nie ujawnił i pozostawił go żywego. Co więcej, uczony fizyk na wydanym dinerze dawał do zrozumienia, że Niemcy wojnę przegrały, a więc domyślnie, nie mogą mieć bomby. Czyta się wszystko to z niedowierzaniem, bo i los egzekutora byłby tragiczny, nie mówiąc o komplikacjach międzynarodowych.

Mój komentarz do tego niezwykle, ale kopiowanego później, w XXI wieku pomysłu – egzekucji kierownika projektu opiera się na znajomości postępów prac nad niemiecką bombą. Zgładzenie Heisenberga nieudolnie prowadzącego projekt spowodowałyby wyznaczenie innego kierownika, być może w rodzaju Wernhera von Brauna, znakomicie prowadzącego program raketowy i w efekcie skonstruowanie przez Niemców bomby byłoby faktem.

Heisenberg jako fizyk nie panował nad stroną chemiczną projektu, a na chemików zespołu powołał marnych specjalistów, ale z klucza partyjnego. W połowie roku 1942, czyli pół roku przed zrealizowaniem przez Fermiego pierwszego reaktora jądrowego z kontrolo-

waną reakcją łańcuchową w Chicago, Heisenberg był też stosunkowo niedaleko opanowania reakcji łańcuchowej. Jego obliczenia wykazywały, że uran powinien mieć dużą rozwiniętą powierzchnię zetknięcia z ciężką wodą, a więc być w postaci proszku. Chemicy w zespole nie ostrzegali, że uran w proszku jest pyroforowy i zapala się w zetknięciu z powietrzem, bo o tym nie wiedzieli. Znakończona firma Degussa od nietypowych metali dostarczyła zgodnie z zamówieniem beczki z uranem w proszku zabezpieczone azotem przed dostępem powietrza sądząc, że klient wie jak z tym się obchodzić. Niestety Heisenberg nie wiedział, technicy zaczęli sypać uran do ciężkiej wody, wybuchł ogromny pożar; Heisenberg, na szczęście wysportowany, zdołał uciec z życiem, ale ciężka woda z takim trudem sprowadzana z Norwegii przepadła. Wszystko to działo się na terenie późniejszej NRD. Mając dobre kontakty naukowe z tamtejszymi chemikami usiłowałem dowiedzieć się, gdzie to się zdarzyło, bo teren w tamtym miejscu musi być silnie skażony proszkiem uranu. Niestety moi rozmówcy na samo pytanie chowali głowy w piasek twierdząc, że nic takiego się nie zdarzyło. Przeważał oczywiście wstyd uczestniczenia Niemców w epokowej kompromitacji naukowej.

Heisenberg dalej działał, stosując tym razem uran w postaci kostek zawieszonych na drucikach w ciężkiej wodzie. Tak to znaleźli Amerykanie w 1945 r., w laboratorium ukrytym w piwnicy win. Po uzyskaniu stanu krytycznego wszystko to miało być zrzucone na Londyn, a ponieważ po znalezieniu zestawu nic nie było aktywne, Amerykanie ręcznie demontowali urządzenie i usuwali uran co jest udokumentowane historycznym zdjęciem.

By dokończyć historię Heisenberga i w pewnym sensie uzupełnić sztukę „Kopenhaga”: Wyłapani starannie po kapitulacji Niemiec uczestnicy nuklearnego programu niemieckiego zostali internowani w obozie pod kryptonimem Farmhouse z zainstalowanymi wszędzie mikrofonami. Opublikowane protokoły nasłuchu dają satysfakcję nam wszystkim zaatakowanym i gnębionym przez Niemców. Jest rzeczą zdumiewającą, że nie wiedzieli nic o projekcie Manhattan i nawet nie przypuszczali, że wiedzą dużo o nim Rosjanie. W przeddzień eksplozji nad Hiroszimą jeszcze naradzali się między sobą co ujawnić Amerykanom z tego, co zrobili w ramach programu, a co zataić na lepsze czasy. Wiadomość, że jest już jednak bomba wywołało wręcz histerię w ich pokojach. Istotnie, to było chyba największe w historii nauki upokorzenie przegranej we współzawodnictwie grupy wysokiej klasy specjalistów.

Nie bez powodu sięgam do historii broni jądrowych, ponieważ dzisiejsza sytuacja jest podobnie dynamiczna jak wtedy. Jedna strona – Izrael ma bombę opartą na

wzbogaconym (przez kogo to nieważne) uranie. Druga – Iran, twierdzi, że nie ma bomby i nie chce mieć, a uran wzbogaca dla pokojowej energetyki. Jednocześnie zniechęca nienawiścią do Izraela i USA w niewybredny sposób jak tego dowodzi, m.in. rozpowszechniane ostatnio przez *Associated Press* zdjęcie generała irańskiego na tle rakiety, a pod nią flagi amerykańskiej na której wszystkie gwiazdki są zastąpione trupami czaszkami. Publikowane są pogrożki, że atak izraelski spowoduje atak na bazy USA gdziekolwiek się znajdują, a nawet oskarżenia, że Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (organ ONZ) przekazuje Izraelowi atomowe tajemnice Iranu uzyskane w czasie rutynowych kontroli państw członkowskich, szczególnie tych, które podpisały *Nuclear Non-Proliferation Treaty*.

Jak w ubiegłym wieku pytanie streszcza się w tym, czy państwo, które nie ma, jak się wydaje, naprawdę jej nie ma. Światowe media za swoimi rządami powtarzają tylko w kółko, że trzeba pilnować wirówek irańskich, czy nie wzbogacają uranu do bombowej zawartości uranu 235. Nie słyszy się zupełnie o drugiej wersji bomby z plutonem 239, której wyprodukowanie nie wymaga wzbogacania uranu. A wystarczy spojrzeć na mapę Iranu, a jeszcze lepiej przez okno z samolotu na trasie Bombay-Frankfurt lub podobnych geograficznie, by zobaczyć, że kraj ten ma nieograniczone możliwości ukrycia odpowiedniego reaktora grafitowego i zakładu przerobu paliwa wypalonego, uwalniającego pluton bombowy. Uważam, że Iran może mieć już taką bombę, która może być dostarczona, np. pod brzeg Izraela, bez żadnej rakiety, a więc sposobem o który Amerykanie posądzali swego czasu Rosjan i zalecali wtedy służbom dokładne przeszukanie naszego Batorego przed zawinięciem w Nowym Jorku.

No cóż, a może Irańczycy nie potrafią tego zrobić? Tak czy inaczej, dawno nie było na świecie tak frapującej sytuacji – tak dla specjalistów nukleoniki, jak i dla polityków, na oczach których może wybuchnąć nowa wojna, tylko z pozoru lokalna.

prof. dr hab. Zbigniew P. Zagórski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

WYBRANE ZAGADNIENIA Z METOD OCENY BEZPIECZEŃSTWA W TYM EWALUACJA NAJLEPSZEGO SZACOWANIA I NIEPEWNOŚCI (BEPU), KODY ZINTEGROWANE I SPRZĘŻONE

Ernest Staron

W artykule przedstawiono niektóre aspekty metod oceny bezpieczeństwa i krótki opis kodów służących deterministycznej analizie bezpieczeństwa.

Źródła niepewności

Opisując przebieg zjawiska, zdając się na opis matematyczno-fizyczny nie jesteśmy w stanie odtworzyć go lub przewidzieć jego przebiegu w sposób idealny. Zawsze musimy iść na kompromis i przyjąć z pokorą fakt, że pojawiają się niedokładności i niepewności w modelowaniu. Modelując zjawiska deterministyczne przy pomocy kodów obliczeniowych praktycznie nie możemy uniknąć występowania wielu źródeł niepewności. Wymienione są one poniżej.

- 1) Równania równowagi lub zachowania są przybliżone – nie sposób uwzględnić wszystkich możliwych oddziaływań pomiędzy parą a płynem oraz nie sposób pominąć wpływu geometrii układu, która nie jest idealna a pojawiające się braki muszą być uzupełnione przez użytkownika w oparciu o jego doświadczenie i znajomość układu.
- 2) W układzie istnieją różne czynniki o tej samej fazie np. krople oraz film powierzchniowy występują w postaci płynu. Zarówno krople jak i film nie tworzą jednej struktury i w związku z tym mają różne temperatury, prędkość i inne parametry. Tymczasem w kodach obliczeniowych można charakteryzować jedną fazę tylko przy pomocy jednej wielkości.
- 3) W danym przekroju wielkości są uśredniane według geometrii przekroju. W rzeczywistości istnieje ciągłość ośrodka i choćby prędkość można byłoby opisać w postaci profilu.
- 4) W skali objętościowej parametry termodynamiczne uśredniane są zgodnie z geometrią układu. Oznacza to, że tylko jeden wektor prędkości jest związany

z komórką obliczeniową. Tymczasem, w rzeczywistości zdarzają się sytuacje gdy takie przybliżenie jest bardzo zgrubne. Przykładowo prędkości czynnika są bardzo różne w przestrzeni dolnej komory mieszania (ang. *lower plenum*).

- 5) W niektórych miejscach występują lokalne wiry, które nie są uwzględniane w równaniach zachowania energii i pędu. Są sytuacje, gdy wiry mogą nawet decydować o zachowaniu się czynnika w układzie – przykładowo w sytuacji dwufazowej cyrkulacji naturalnej pomiędzy zimnymi i ciepłymi zestawami paliwowymi.
- 6) Zastosowane rozwiązanie numeryczne musi z konieczności być przybliżone. Z kolei przybliżone rozwiązanie numeryczne jest rozwiązywane przy użyciu przybliżonych metod numerycznych. W konsekwencji dla danej komórki lub kroku czasowego musi być spełniona druga zasada termodynamiki.
- 7) W wielu przypadkach wykorzystywane są rozwiązania oparte o zależności empiryczne. Niestety zależności takie mogą być obciążone błędem, mogą być zastosowane w zakresie dla którego są mało dokładne lub wprowadzone niedokładnie, gdyż wymagają przykładowo rozwiązania iteracyjnego.
- 8) Przyjmuje się, że wszelkie korelacje określone są dla stanu ustalonego i w pełni rozwiniętego przepływu, tymczasem taka sytuacja występuje dość rzadko.
- 9) Własności materiałowe określone są w przybliżeniu.
- 10) Istnieje efekt użytkownika. Różni użytkownicy posługując się tym samym kodem i mając do dyspozycji te same dane na ogół otrzymują różne wyniki. Jest to związane z przyjęciem innej nodaizacji, zaokrągleniem danych lub ich uzupełnianiem w różny sposób. Różni użytkownicy będą mieli różny poziom akceptacji stanu ustalonego.

- 11) Zauważalny jest wpływ kompilatora i rodzaju komputera na ostateczne wyniki. Sytuacja w tym względzie nie uległa zauważalnej zmianie w porównaniu do okresu sprzed kilkunastu lat.
- 12) Istnieje efekt nodalizacji. Opracowanie i przyjęcie odpowiedniej nodalizacji wiąże się z wiedzą ekspercką jak również z przekonaniem o mocy komputerów.
- 13) Nieokreślone są warunki brzegowe i początkowe. W konsekwencji w wielu sytuacjach użytkownik musi samodzielnie uzupełnić potrzebne informacje.
- 14) Mogą istnieć poważne braki w modelowaniu fizycznym, które nie są znane użytkownikowi. W rezultacie w otrzymanych przebiegach obliczeniowych mogą pojawić się niezrozumiałe, odległe od rzeczywistości zjawiska.

Przykładowo wpływ kompilatora i maszyny obliczeniowej jest uwidoczniiony w tabeli 1, która przedstawia porównanie obliczeń dla różnych maszyn w tej samej chwili tj. w 240 sekundzie procesu symulującego małe rozszczelnienie obiegu pierwotnego w instalacji doświadczalnej LSTF w Japonii. Obliczenia zostały wykonane dla tej samej wersji kodu i dla tych samych danych wejściowych. Na rys.1 zilustrowano dość typowy wpływ użytkownika. Dla tej samej instalacji doświad-

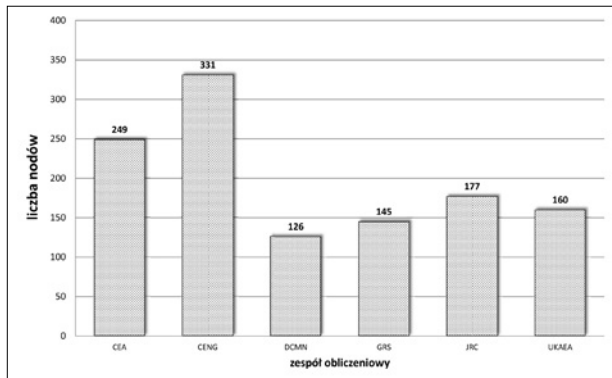
czalnej tj. LOBI dla testu A2-77 użytkownicy mieli dowolność w tworzeniu modelu, jak i dowolność w wyborze kodu obliczeniowego. Rysunek przedstawia różnice w liczbie nodów modelujących instalację przyjętych przez różne zespoły obliczeniowe. Należy zaznaczyć, że wszystkie zespoły były zespołami doświadczonymi.

Uwidocznione różnice i wyraźny efekt niepewności skutkują koniecznością stosowania konserwatywnych założeń. Powstaje pytanie, na ile dobry jest program obliczeniowy? W konsekwencji zmuszeni jesteśmy ponosić dodatkowe nakłady finansowe na zapewnienie bezpiecznego projektu i rozwój narzędzi obliczeniowych. Efekt końcowy tych nakładów okazuje się nie zawsze widoczny. W dzisiejszym podejściu do obliczeń zaczyna być zauważalne podejście probabilistyczne. Stosowane są kody bardziej realistyczne niż konserwatywne, ale z większą liczbą rozważanych przypadków obejmujących szerszy przedział danych wejściowych.

Obliczeń wykonywanych przy użyciu podstawowych kodów nie można traktować jako dokładnych i należy o tym pamiętać. Nie można w pełni być przekonanym o tym, że wyniki obliczeń odzwierciedlają dokładnie przebieg zjawisk.

BEPU

Podejście konserwatywne dominowało w pierwszych dwudziestu latach istnienia energetyki jądrowej z powodu braku doświadczeń i eksperymentów, które wyjaśniałyby dokładnie przebieg zjawisk istotnych z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy elektrowni. Systematycznie postępujący wzrost wiedzy pozwolił na uwzględnienie w kodach obliczeniowych szerszego zakresu rozpatrywanych przypadków połączony z większą dokładnością przebiegu zjawisk. Okazało się też, że podejście konserwatywne w niektórych sytuacjach zaciemniało obraz przebiegu zjawisk wpływających na bezpieczeństwo obiektu. Przykładowo, założenie wyższej mocy niż nominalna w rdzeniu w przypadku awarii małego rozszczelnienia obiegu pierwotnego w efekcie prowadzi do wyższej niż spodziewanej ilości mieszaniny parowo-wodnej w rdzeniu. W dalszej konsekwencji



Rys.1. Różnice w modelowaniu : liczba nodów modelujących instalację w zależności od zespołu obliczeniowego

Tabela 1. Różnice w wynikach otrzymanych przez różne ośrodki na podstawie takich samych danych

Wielkość	Jednostka	IBM 3090, CNUCE Piza	IBM 3090, ENEA	CRAY CMP, ENEL Piza	FACON, JAERI	PC, Uniw. Zagrzeb
CPU	sek	5327	5940	2919	635,2	29338,7
Ciśnienie w stabilizatorze ciśnienia	MPa	7,397	7,386	7,717	7,638	7,389
Różnica ciśnienia w rdzeniu	kPa	14,3	14,4	15,3	12,2	14,1

może się okazać, że wyliczona temperatura koszulek paliwowych nie będzie wartością konserwatywną. Podejście konserwatywne zamazuje też nieco marginesy bezpieczeństwa przez co traci się na elastyczności w podejściu do eksploatacji elektrowni.

W celu uniknięcia wielu słabości podejścia konserwatywnego wydaje się, że dobrym rozwiązaniem byłoby wykonanie obliczeń z użyciem kodów najlepszego szacowania (ang. „*best estimate*”). Następnie należałoby dodać ocenę niepewności (ang. „*plus uncertainty*”). Na koniec niezbędne jest porównanie wyników z kryteriami akceptacji. Podejście takie scharakteryzowane jest jako BEPU, czyli „Best Estimate Plus Uncertainty”. Dostarcza ono bardziej realistycznego opisu zachowania reaktora i identyfikuje najbardziej istotne zagadnienia bezpieczeństwa. Pozwala też na lepszą ocenę marginesów bezpieczeństwa gdy marginesy te nie są duże. Jeśli marginesy są jednak duże to wówczas podejście konserwatywne może się okazać szybsze w analizie, gdyż nie wymaga oceny niepewności obliczeń.

Nieco szerszy wywód na temat BEPU można znaleźć w zaleceniach MAEA w dokumencie SSG-2 „Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants”. Prowadzący warsztaty odwoływali się kilkakrotnie do wymienionego dokumentu, a w szczególności do tabeli „Opcje związane z łączeniem kodów obliczeniowych i danych wejściowych” przytoczonej poniżej.

Na dzień dzisiejszy w większości krajów, do analiz bezpieczeństwa stosuje się opcję nr 2. Wykorzystuje się kody najlepszego szacowania lub konserwatywne choć częściej wykorzystywane są kody najlepszego szacowania. Jednocześnie wprowadza się konserwatywne warunki początkowe i graniczne oraz konserwatywne podejście do działania systemów bezpieczeństwa i sterowania. Takie podejście powinno zapewnić ograniczenie wpływu modeli obliczeniowych i parametrów systemów elektrowni. Całości stosowania opcji nr 2 dopełnia

konieczność walidacji kodów, stosowanie konserwatywności w podejściu do danych oraz wykonanie badań czułości.

Metoda BEPU mieści się w opcji nr 3 przedstawionej tabeli. Zgodnie z nazwą metody, stosowane są kody najlepszego szacowania i nie ma tutaj miejsca na kody konserwatywne. Warunki początkowe i brzegowe powinny być zbliżone do warunków realistycznych. Jednocześnie powinny być zidentyfikowane niepewności tak, by móc ocenić niepewność w otrzymanych wynikach. Metoda wymaga również oceny prawdopodobieństwa, że kryteria akceptacji nie zostaną przekroczone. Połączenie stosowania kodu najlepszego szacowania i realistycznych założeń powinny być oceniane statystycznie. Jeśli występują zależności pomiędzy wyliczonymi niepewnościami, powinny one zostać wyszczególnione. Ważną rzeczą w badaniach niepewności jest znalezienie efektów klifowych (ang. *cliff edge effect*), które polegają na tym, że niewielkie zmiany w wartościach parametrów pracy obiektu powodują znaczące, negatywne zmiany w stanie jego pracy. Oznacza to nagłą zmianę stanu obiektu wywołaną przez niewielką zmianę w wartościach danych wejściowych.

Dozory jądrowe, oprócz najczęściej stosowanej opcji nr 2, wykorzystują często w analizach również opcję nr 3.

Komputerowe narzędzia deterministycznej analizy bezpieczeństwa

Liczba kodów obliczeniowych wykorzystywanych do analiz bezpieczeństwa lub oceny eksploatacji elektrowni jądrowej jest znaczna. W zależności od potrzeb, ich zakres może obejmować zarówno kody specjalizujące się w fizyce reaktorowej, jak i mechanistyczne odzwierciedlające zjawiska ciepłno-przepływowe. Osoba posługująca się kodami musi niestety przyjąć odpowiedzialność za to, czy zastosowane kody są właściwe

Tabela 2. Opcje związane z łączeniem kodów obliczeniowych i danych wejściowych

	Opcja	Kod obliczeniowy	Dostępność systemów bezpieczeństwa i sterowania	Warunki graniczne i początkowe
1	Konserwatywna	Konserwatywny	Założenia konserwatywne	Konserwatywne dane wejściowe
2	Łączona	Najlepszego szacowania	Założenia konserwatywne	Konserwatywne dane wejściowe
3	Najlepszego szacowania	Najlepszego szacowania	Założenia konserwatywne	Realistyczne połączone z niepewnością; częściowo warunki najbardziej niekorzystne
4	Z oceną ryzyka	Najlepszego szacowania	Wynikające z analizy probabilistycznej	Realistyczne dane wejściowe połączone z niepewnością

do bieżącej analizy. Powinna w tym celu być świadoma zakresu stosowania danego kodu i znać jego ograniczenia.

Ogólnie kody do analiz deterministycznych można podzielić na dwie grupy:

- a) Kody mechanistyczne wykorzystujące modele fenomenologiczne czyli oparte o doświadczenie, które powinny w jak najdokładniejszy sposób przewidywać zachowanie elektrowni,
- b) Kody parametryczne, które są kombinacją modeli fenomenologicznych i modeli określonych przez użytkowników wykorzystujących różne parametry; są one niezbędne do określenia trendów w zachowaniu elektrowni.

Z punktu widzenia rodzaju analizy, kody deterministyczne można podzielić na pięć grup:

1. Ciepłno-przepływowe – wykorzystujące kody dynamiki przepływów i symulujące zachowanie chłodziwa w obiegu pierwotnym i wtórnym oraz pod obudową bezpieczeństwa,
2. Neutronowe – wykorzystujące kody neutronowe i symulujące procesy rozszczepieniowe w rdzeniu;
3. Strukturalne – wykorzystujące kody wytrzymałościowe i symulujące zachowanie struktur pracujących pod obciążeniem,
4. Radiologiczne – mające na celu ocenę konsekwencji radiologicznych dla pracowników i ogółu ludności,
5. Kody sprzężone – łączące kody z co najmniej dwóch grup wymienionych wcześniej i wykorzystujące specjalne narzędzia sprzęgające dane wyjściowe z jednego kodu z wymaganiami odnośnie danych wejściowych dla innego kodu.

Grupa kodów ciepłno-przepływowych jest bardzo liczna. Najczęściej wykorzystywana jest do analiz awarii projektowych elektrowni jądrowych choć zastosowanie do innych obiektów jądrowych lub instalacji doświadczalnych jest też bardzo istotne. W tej grupie część kodów przeznaczona jest do analiz systemowych czyli do obiegu pierwotnego, wtórnego i obudowy bezpieczeństwa.

Kody ciepłno-przepływowe systemowe

Są to kody najczęściej wykorzystywane przez dozory jądrowe, organizacje badawcze i przemysłowe. Zasadniczo są one w miarę uniwersalne i nie są ograniczone do jednego rodzaju konstrukcji, czy typu reaktora. Często są stosowane zarówno do elektrowni jądrowych, jak i do instalacji doświadczalnych. Ta grupa kodów wykorzystywana jest przez dozory jądrowe jako kody najlepszego szacowania i nie zawierają modeli specyficznych

dla podejścia konserwatywnego. Do najbardziej znanych kodów z tej grupy należą APROS, ATHLET, RELAP, CATHARE, KORSAR, RETRAN, TRAC, TRACE.

Organizacje przemysłowe wytworzyły swoje niezależne kody obliczeniowe spośród których najbardziej znane to LOFTRAN, BASH, BART, CESEC, COAST i CATHE-NA.

Kody ciepłno-przepływowe systemowe służą jako podstawowe narzędzie obliczeniowe i wykorzystywane są do przewidywania zachowania elektrowni jądrowych w przypadku awarii lub stanów nieustalonych. Poszczególne elementy, urządzenia i systemy reaktorowe są reprezentowane i modelowane w sposób spójny jak również są sprawdzane i kwalifikowane pod kątem zgodności z procesami ciepłno-przepływowymi, neutroniką zachowaniem paliwa i działaniem systemu sterowania. Kody systemowe wykorzystują modele mechanistyczne dla dwóch płynów, hydrodynamiki nierównowagowej, kinetyki reaktorowej punktowej i wielowymiarowej, systemów sterowania i innych komponentów jak: pompy, zawory, czy akumulatory. Na dzień dzisiejszy kody systemowe w odniesieniu do rurociągów i zbiorników najczęściej są jednowymiarowe choć dwu- lub nawet trójwymiarowa reprezentacja zaczyna być coraz częściej spotykana. W przypadku nowych rozwiązań reaktorowych z systemami pasywnymi, kody systemowe obejmują nie tylko systemy chłodzenia, ale również obudowę bezpieczeństwa. Od strony matematycznej, kody systemowe bazują na rozwiązywaniu sześciu (lub ewentualnie mniejszej liczby) równań różniczkowych cząstkowych, które uwzględniają również:

- a) wyliczenie współczynnika przejmowania ciepła,
- b) wymianę ciepła na powierzchni i w głębi ciała stałego,
- c) równania konstytutywne¹,
- d) modele zewnętrzne np. przepływy krytyczne, separator pary, charakterystyka pompy,
- e) gazy niekondensujące,
- f) kwas borowy.

Własności materiałowe są uwzględnione w kodzie, ale istnieje możliwość dodania własności przez użytkownika.

Spośród kodów systemowych najbardziej znany jest kod RELAP5 (Reactor Excursion and Leak Analysis Program). Został on stworzony w Idaho National Laboratories na zlecenie NRC².

¹ Opis właściwości ciał na podstawie ich wewnętrznej budowy molekularnej napotyka trudności. W praktyce stosuje się opis fenomenologiczny właściwości ciał. Na drodze eksperymentalnej ustala się związki wiążące stan obciążenia mechanicznego ze stanem odkształcenia ośrodka. Związki takie noszą nazwę konstytutywnych [1].

² NRC – Nuclear Regulatory Commission (amerykański dozór jądrowy)

RELAP5mod3 oparty jest o model jednowymiarowy, dwupłynowy, obejmujący mieszaninę parowo-wodną znajdującą się w stanie nierównowagowym, wyprowadzony z podstawowych praw termodynamiki. Model składa się z równań:

- ciągłości dwóch faz,
- momentu dwóch faz,
- energii dwóch faz.

Uzupełniony jest on o korelacje określone w oparciu o eksperymenty.

Obecnie RELAP5 został w NRC zastąpiony programem TRACE.

CATHARE2

CATHARE2 (*Code for Analysis of Thermalhydraulics during an Accident of Reactor and safety Evaluation*) jest kodem systemowym francuskim opracowanym przez CEA³, EdF⁴ i FRAMATOME⁵. Oparty jest o model jednowymiarowy, dwupłynowy, z sześcioma równaniami różniczkowymi cząstkowymi połączonymi z zestawem równań konstytutywnych. Jest to kod najlepszego szacowania utworzony pod kątem obliczeń awarii w reaktorach typu PWR z wyłączeniem sytuacji prowadzących do stopienia rdzenia. Uwzględnia on również zjawiska związane z przepływami dwufazowymi. Kod ma budowę modułową z możliwością prowadzenia obliczeń równoległych.

ATHLET

ATHLET (*Analyses of Thermal Hydraulics in Leaks and Transients*) został opracowany przez GRS⁶. Wykorzystywany jest do obliczeń szerokiego zakresu stanów eksploatacyjnych i awaryjnych, z małymi i dużymi rozszczelnieniami dla reaktorów typu PWR i BWR. Model opiera się o pięć równań różniczkowych z równaniami zachowania masy i energii dla pary i płynu i równaniem momentu mieszaniny uwzględniający stan nierównowagi cieplnej i mechanicznej oraz możliwością śledzenia poziomu mieszaniny.

Kody do awarii ciężkich

Dość duży wysiłek włożono w budowę kodów do obliczeń awarii ciężkich. Zjawiska, które one obejmują wykraczają poza zakres stosowania innych grup kodów obliczeniowych. Należą do nich:

- Topienie rdzenia i jego przemieszczenie,
- Rozerwanie zbiornika reaktora,
- Bezpośrednie grzanie obudowy bezpieczeństwa,
- Oddziaływanie stopionego rdzenia z betonowym podłożem,
- Eksplozje pary,
- Spalanie wodoru w tym mieszanie, splanie, detonacje,
- Uwolnienia produktów rozszczepienia, transport, osadzanie i inne.

Proces BEPU rozpoczyna się od wyboru rozpatrywanego scenariusza. Łączy się on z określeniem celu analizy – czy dotyczy analizy systemowej lub analizy komponentów lub analizy konsekwencji radiologicznych. Następnym krokiem jest ustalenie kryteriów akceptacji i określenie zjawisk, których obliczenia dotyczą a w szczególności określenie zjawisk które powinny być wzięte pod uwagę. Wybór najlepiej nam odpowiadającego kodu obliczeniowego jest kolejnym krokiem w schemacie postępowania BEPU i łączy się on z koniecznością opracowania nodalizacji. W tym momencie powstaje pytanie o kwalifikacje – czy kod spełnia wymagania, czy zaproponowana nodalizacja jest poprawna i czy użytkownik kodu obliczeniowego ma wystarczające umiejętności i doświadczenie. Po przyjęciu niezbędnych założeń i ewentualnym sprzężeniu z innym kodem obliczeniowym wykonywane są analizy. Wówczas dochodzi czynnik związany z niepewnością i wykonanie studiów niepewności i czułości elementów. Jeśli kryteria akceptacji zostają spełnione to można uwzględnić analizy w końcowym raporcie bezpieczeństwa.

Podsumowanie

Przedstawienie wszystkich zagadnień poruszonych w trakcie spotkania nie było możliwe jak również byłoby niecelowe. Zasygnalizowanie tematyki poświęconej analizom bezpieczeństwa elektrowni jądrowych powinno zachęcić osoby zainteresowane do głębszych studiów

dr inż. Ernest Staroń,
Departament Bezpieczeństwa Jądrowego,
Państwowa Agencja Atomistyki,
Warszawa

Literatura

- [1] IAEA, *Deterministic Safety Analysis for Nuclear Power Plants*, IAEA Safety Standards Series No. SSG-2, IAEA, Vienna 2009
- [2] J. Mikieliewicz, *Modelowanie procesów ciepłno-przepływowych*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich – Wydawnictwo. Wrocław 1995.

³ CEA - le Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (francuskie centrum badań technologicznych)

⁴ Francuska grupa energetyczna

⁵ FRAMATOME wraz z COGEMA utworzyły grupę energetyczną AREVA

⁶ GRS – Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (niemiecka organizacja wsparcia technicznego)

KOLEKCJONOWANIE MINERAŁÓW ZAWIERAJĄCYCH NATURALNE RADIONUKLIDY W ŚWIECIE POLSKIEGO PRAWA

Tadeusz Dziubiak

W związku z przypadkami zatrzymań kolekcjonerów minerałów i stawianych im zarzutów prokuratorskich o powodowaniu zagrożenia życia i zdrowia wielu ludzi tylko dlatego, że posiadali w domu kawałki rudy uranowej, a także pojawieniem się szeregu publikacji na ten temat zarówno w Internecie, jak i w prasie drukowanej, chciałbym przybliżyć czytelnikom obowiązujący stan prawny w tym zakresie oraz odnieść się do przepisów międzynarodowych i stosowanych powszechnie praktyk.

Promieniotwórczość naturalna towarzyszy człowiekowi od zawsze. Występuje w minerałach i w zbudowanych z nich skałach.

Naturalne pierwiastki promieniotwórcze (Te-130, V-50, Zr-96, Sm-149, Sm-148, Os-186, Nd-145, Pt-192, In-115, Gd-152, Te-123, Pt-190, Sm-147, Rb-87, Re-187, Lu-176, Th-232, U-238, K-40, U-235) w różnych koncentracjach, występują zarówno w ziemi jak i w organizmach żywych i są podstawowym źródłem naturalnej promieniotwórczości w przyrodzie.

Promieniotwórczość w minerałach jest spowodowana zawartymi w nich naturalnie występującymi radionuklidami. Stopień promieniotwórczości zależy od stężenia i rodzaju radionuklidu zawartego w mineralu. Minerały promieniotwórcze emitują promieniowanie jonizujące *alfa*, *beta* lub *gamma*. Poziom promieniowania można zmierzyć za pomocą licznika Geigera-Müllera lub licznika scyntylacyjnego. Przykładowo uran (U-238, U-235) i tor (Th-232) są radionuklidami emitującymi promieniowanie jonizujące *alfa*, a potas (K-40) emituje promieniowanie jonizujące *beta*.

W glebie stężenia promieniotwórcze uranu U-238 i toru Th-232 wynoszą średnio 22 Bq/kg i 37 Bq/kg.

Granit jest kamieniem odpornym na ścieranie, mróz i niewrażliwy na czynniki atmosferyczne, dlatego jest doskonałym materiałem wykorzystywanym w budownictwie do wykonania elementów, takich jak: parapety,

schody, blaty, posadzki, kominki. W granicach przeciętne stężenia promieniotwórcze uranu i toru wynoszą odpowiednio 40 Bq/kg i 70 Bq/kg (przy maksymalnym dopuszczalnym stężeniu promieniotwórczym toru, które zostało ograniczone do 200 Bq/kg w odniesieniu do surowców i materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 r. w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz. U. z 2007 r. Nr 4 poz. 29)) przy czym należy zaznaczyć, że surowce i materiały budowlane zawierające tor lub uran o stężeniu promieniotwórczym nieprzekraczającym 1000 Bq/kg według przepisów transportowych Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej nie są uznawane za materiał promieniotwórczy. Kolejnym przykładem są saletry zawierające potas szeroko stosowane w rolnictwie do nawożenia roślin, które oprócz potasu niepromieniotwórczego zawierają też potas K-40.

Niektóre minerały promieniotwórcze są cenione przez kolekcjonerów i muzea przyrodnicze ze względu na niezwykle jaskrawe barwy, interesujące formy kryształograficzne i fluorescencję.

Jednym z minerałów o dużej aktywności promieniotwórczej jest radiobaryt o składzie chemicznym $\text{Ba}_{0,99}\text{Ra}_{0,01}(\text{SO}_4)$. Fachowcy mogą wymienić wiele gatunków naturalnych minerałów promieniotwórczych zawierających uran i/lub tor.

Na poziomie krajowym uregulowania dotyczące ochrony radiologicznej ludzi zawarte są w ustawie Prawo atomowe z dnia 29 listopada 2000 r. (tekst jednolity Dz. U. z 2012 r. poz. 264 z późn. zm.) oraz w rozpo-

rzędzeniach do ustawy, a także w międzynarodowych przepisach transportowych dotyczących przewozu towarów niebezpiecznych wprowadzonych do krajowego systemu prawnego ustawą z dnia 19 sierpnia 2011 r. o przewozie towarów niebezpiecznych (Dz. U. Nr 227 poz. 1367 z późn. zm.), ustawą z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze (Dz. U. z 2012 r. Poz. 933 z późn. zm.) oraz ustawą z dnia 18 sierpnia 2011 r. o bezpieczeństwie morskim (Dz. U. z 2011 r. Nr 228 poz. 1368 z późn. zm.). Na poziomie międzynarodowym uregulowania dotyczące ochrony radiologicznej ludzi zawarte są w rekomendacjach i przepisach Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, przepisach modelowych ONZ, dyrektywach Unii Europejskiej, umowach międzynarodowych, konwencjach i traktatach.

Ustawa Prawo atomowe wypełnia postanowienia dyrektywy 96/29/EURATOM z dnia 13 maja 1996 r., ustanawiającej podstawowe normy bezpieczeństwa w zakresie ochrony zdrowia pracowników i ogółu społeczeństwa przed zagrożeniami wynikającymi z promieniowania jonizującego. Z art. 2 ust. 1 tej dyrektywy wynika, że jej przepisy stosuje się do każdej działalności, która wiąże się z ryzykiem promieniowania jonizującego emanującego ze sztucznego źródła lub źródła naturalnego promieniowania w przypadkach, gdy naturalne radionuklidy są przetwarzane lub zostały przetworzone z uwagi na ich właściwości promieniotwórcze, rozszczepialne lub paliworodne, co oznacza, że dyrektywa ta nie dotyczy minerałów naturalnego pochodzenia posiadanych w celach kolekcjonerskich. Minerały takie nie są także materiałem jądrowym zgodnie z definicją podaną w art. 197 Traktatu ustanawiającego Europejską Współnotę Energii Atomowej, zwanego „Traktatem Euratom” oraz zgodnie z ustawą Prawo atomowe. Oznacza to, że zarówno w myśl przepisów unijnych, jak i krajowych posiadanie minerałów promieniotwórczych nie wymaga ani zezwolenia, ani zgłoszenia do właściwej władzy,

tj. Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki. Jednakże transport i obrót, według polskich przepisów może wymagać uzyskania zezwolenia lub dokonania zgłoszenia, w zależności od ilości materiału promieniotwórczego, rodzaju zawartych w nim radionuklidów i ich stężeń promieniotwórczych.

Warto zwrócić uwagę, że na zagranicznych portalach internetowych, takich jak np. *Mineralogy Database*, który zawiera obszerną bazę danych o minerałach, umieszczane są zalecenia dla kolekcjonerów posiadających minerały emitujące promieniowanie jonizujące dotyczące bezpiecznego postępowania z nimi.

Oto przykład zaleceń na temat bezpiecznego postępowania z minerałami promieniotwórczymi:

Jeśli zbierasz lub posiadasz minerały promieniotwórcze, powinieneś przeprowadzać pomiary promieniowania, żeby określić, czy potrzebne jest dodatkowe zabezpieczenie przy przechowywaniu minerałów. Jeżeli nie posiadasz licznika Geigera lub licznika scyntylacyjnego, możesz użyć niedrogich „track-etch” detektorów radonu w celu stwierdzenia, czy występuje niebezpieczeństwo. Weź trzy detektory i umieść je w następujących miejscach: jeden w gablocie z minerałami, drugi w pomieszczeniu, gdzie przechowywana jest kolekcja, a trzeci użyj jako kontrolny (detektor odniesienia) w celu dokładniejszego odczytu pomiarów przez specjalistyczne laboratorium.

Zalecenia dotyczące przechowywania minerałów promieniotwórczych:

1. *Ogranicz czas dotykania minerału do minimum. Umieść go w szczelnie zamkniętej, przezroczystej gablocie. Po dotykanii zawsze umyj dokładnie ręce.*
2. *Nie pal, nie jedz i nie śpij w pobliżu minerałów promieniotwórczych.*
3. *Ogranicz wielkość minerału, ponieważ im większy okaz tym większą dawkę promieniowania otrzyma osoba przebywająca w jego pobliżu.*

Tabela 1. Podział minerałów ze względu na ich aktywność promieniotwórczą

Minerały o aktywności:	Stężenie promieniotwórcze [Bq/g]		Przykładowe minerały
	²³⁸ U	²³² Th	
na granicy detekcji	10 ⁻⁴ – 10 ⁻³	10 ⁻⁴ – 10 ⁻³	kwarc, oliwiny
małej	10 ⁻³ – 0.1	10 ⁻³ – 10 ⁻²	skalenie potasowe*
przeciętnej	10 ⁻² – 0.7	10 ⁻³ – 0,2	miki, amfibole
podwyższonej	1 – 50 (łącznie dla ²³⁸ U i ²³² Th)		allanit, cyrkon, gadolinit, tytanit
wysokiej	>100 (łącznie dla ²³⁸ U i ²³² Th)		davidyt, fergusonit, monacyt, pirochlory
bardzo wysokiej i maksymalnej	>1000 (łącznie dla ²³⁸ U i ²³² Th)		uraninit, toryt, torianit, banneryt

* aktywność skaleni potasowych pochodzi przede wszystkim od ⁴⁰K i jest w zakresie 0,3 - 4,3 Bq/g. Minerałem o aktywności promieniotwórczej (16 Bq/g) w całości pochodzącej od ⁴⁰K jest sylwin (KCl).



Fot.1. Blenda uranowa

(<http://energetykon.pl/wp-content/uploads/2011/02/h09m.jpg>)

Międzynarodowe przepisy pocztowe ratyfikowane przez Rzeczpospolitą Polską dopuszczają możliwość przesyłania przesyłek zawierających substancje promieniotwórcze po spełnieniu zawartych w nich wymagań. W Światowym Związku Pocztowym (UPU) Polskę reprezentuje operator pocztowy Poczta Polska S.A., w związku z tym nie powinno być żadnych przeszkód w wymianie minerałów drogą pocztową zarówno w kraju, jak i w ruchu międzynarodowym.

Dobrym przykładem racjonalnego podejścia jest rozwiązanie stosowane w USA. US Postal Service umożliwia przesyłanie do 506 g uraninitu UO_2 (88% wag. U) i do 2020 g torianitu ThO_2 (88% wag. Th). Warunkiem jest zadeklarowanie zawartości przesyłki w urzędzie pocztowym i nieprzekroczenie mocy dawki $5 \mu\text{Sv/h}$ na zewnętrznej stronie opakowania. Wartość $5 \mu\text{Sv/h}$ jest limitem ustalonym w przepisach transportowych MAEA dla wyłączonej sztuki przesyłki (ang. excepted package).

Transport lub obrót minerałami zawierającymi naturalne radionuklidy, których stężenie promieniotwórcze może być większe najwyżej 100-krotnie od wartości podanych w załączniku nr 2 do ustawy Prawo atomowe z dnia 29 listopada 2000 r., jest dozwolony bez zgłaszania takich działań, pod warunkiem że w trakcie prowadzenia takich działań, indywidualna dawka efektywna, jaką może otrzymać dowolna osoba, nie przekroczy $10 \mu\text{Sv}$, a wartość zbiorowej obciążającej dawki efektywnej nie przekroczy 1 Sv w ciągu roku (podstawa prawna: rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 6 sierpnia 2002 r. w sprawie przypadków, w których działalność związana z narażeniem na promieniowanie jonizujące nie podlega obowiązkowi uzyskania zezwolenia albo zgłoszenia oraz przypadków, w których może być wykonywana na podstawie zgłoszenia). Zgłoszenie takich działań poprawia sytuację, ponieważ eliminuje wyżej wymienione niedogodności związane z obliczaniem dawek i w dodatku jest bezpłatne.



Fot.2. Uranofan $(\text{H}_3\text{O})\text{Ca}[\text{UO}_2][\text{SiO}_4]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

W obydwu przypadkach podczas transportu na podstawie zgłoszenia lub bez, również powinny być spełnione wszystkie wymagania dotyczące przewozu wyłączonych sztuk przesyłki zawarte w odpowiednich transportowych przepisach modalnych (ADR, RID, ADN, IMDG Code, Techniczne Instrukcje ICAO), które nie są aż tak skomplikowane, żeby z prowadzenia takiej działalności na wstępie rezygnować.

Firma kurierska może wystąpić o zezwolenie na transport wyłączonych sztuk przesyłki, co całkowicie rozwiązuje wszelkie problemy związane z transportem przesyłek z minerałami.

Możliwości jest wiele, należy tylko pamiętać, że postępowanie z minerałami zawierającymi naturalnie występujące radionuklidy, zresztą jak ze wszystkimi innymi materiałami niebezpiecznymi (toksycznymi, łatwopalnymi, trującymi etc.) z którymi stykamy się codziennie w domu, na dworze, w sklepie lub w pracy, wymaga rozsądnego podejścia, posiadania określonej wiedzy na temat ich właściwości, ostrożności, żeby nie narażać siebie i innych ludzi na niebezpieczeństwo.

Tadeusz Dziubiak,
Inspektor Dozoru Jądrowego,
Państwowej Agencji Atomistyki,
Warszawa

OD INSTYTUTU RADOWEGO W WARSZAWIE DO WSPÓŁCZESNYCH ZASTOSOWAŃ TECHNOLOGII RADIACYJNYCH

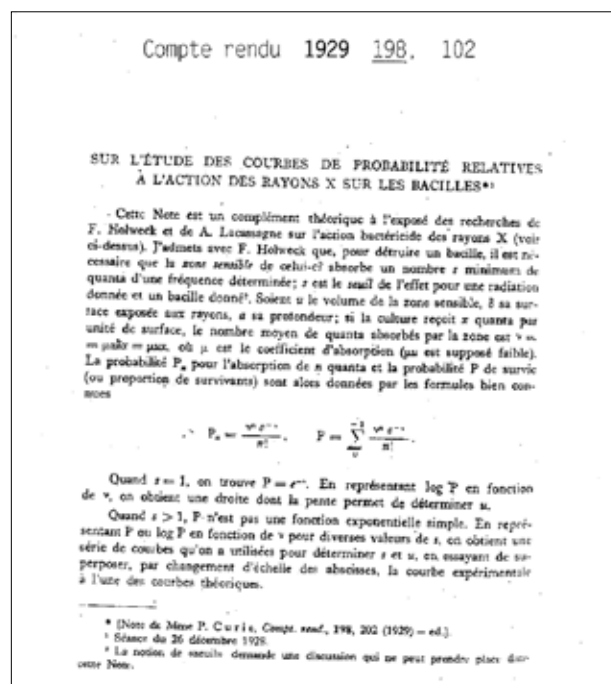
Wojciech Głuszewski

WPROWADZENIE

80. rocznica otwarcia w Warszawie Instytutu Radowego jest dobrą okazją do przypomnienia dorobku naukowego Marii Skłodowskiej-Curie i jego znaczenia dla rozwoju cywilizacyjnego^{1,2}. Stwierdzenie przez uczoną, że promieniowanie *alfa* (α) powoduje wydzielanie wodoru i tlenu z wody, które przez analogię do elektrolizy nazwała *radiolizą*, dało początek chemii radiacyjnej. Trudno oczywiście znaleźć prosty związek pionierskich prac Marii z licznymi obecnie zastosowaniami technik radiacyjnych w przemyśle, medycynie, rolnictwie, ochronie środowiska, badaniach kosmicznych i nauce. Autentyczny rozwój wielu z tych dziedzin, np. chemii i przetwórstwa polimerów, miał bowiem miejsce wiele lat po śmierci genialnej uczoney. Nie sposób sobie wyobrazić, aby w latach 30. ubiegłego wieku ktokolwiek przewidywał, że promieniowanie jonizujące zostanie wykorzystane do radiacyjnej modyfikacji elastomerów, np. w produkcji opon samochodowych. Zdarza się, że pewne odkrycia, które za życia odkrywcy nie mają praktycznego znaczenia i pozostają w sferze akademickich dyskusji i dopiero po wielu latach przy odpowiednim rozwoju środków technicznych mogą zostać realizowane.

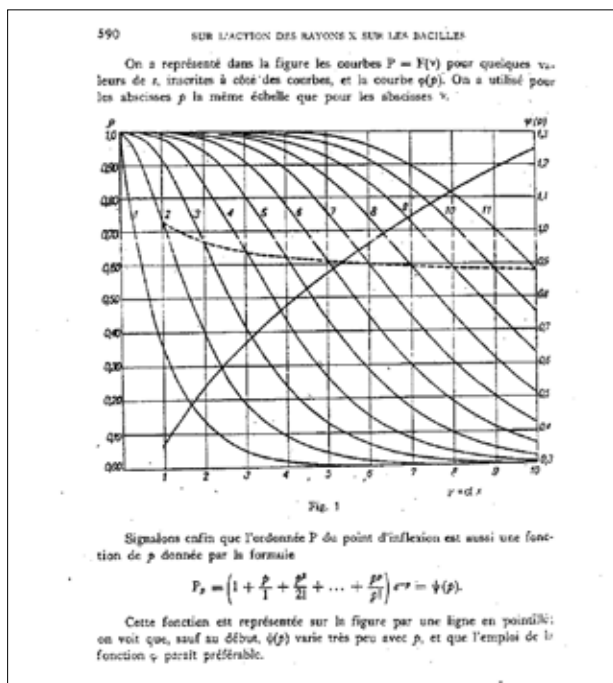
Warto w tym kontekście zwrócić uwagę na pracę *Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons X sur les bacilles*, którą Skłodowska-Curie opublikowała w roku 1929 w „Compte rendu”.

Autorka przedstawiła wówczas po raz pierwszy krzywe tzw. radiacyjnej inaktywacji, czyli zależności między przeżywalnością bakterii a wielkością pochłoniętej dawki promieniowania. Eksperymentalnie wykazała, nie znając istoty samego zjawiska, statystyczny charakter skutków oddziaływania promieniowania jonizującego na materię. Publikacja ta z dzisiejszego punktu widzenia jest pierwszą pracą kompleksowo przedstawiającą zagadnienia z dziedziny radiacyjnej sterylizacji.



Fot. 1. Pierwsza strona artykułu *Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons x sur les bacilles* opublikowanego przez Marię, żonę Piotra Curie

Pomysł, aby patogeny zwalczać za pomocą promieniowania, nie miał wówczas praktycznego znaczenia. Przede wszystkim nie było odpowiednio dużych źródeł promieniowania, a ówczesny sprzęt medyczny tanio i wygodnie sterylizowano w sposób termiczny. Dopiero postęp w dziedzinie chemii i przetwórstwa materiałów polimerowych w latach 50., który spowodował upowszechnienie się w szpitalnictwie wyrobów jednorazowego użytku, stworzył zapotrzebowanie na tzw. zimne metody sterylizacji. Dotyczyło to zwłaszcza tanich utensyliów medycznych, które odegrały znaczącą rolę w wyeliminowaniu wielu epidemiologicznych chorób. Tradycyjne metody termiczne nie nadają się, jak wiadomo, do wyjaławiania nieodpornych na podwyższone temperatury tworzyw sztucznych.



Fot.2. Druga strona artykułu z ryciną przedstawiającą krzywe inaktywacji radiacyjnej

Wrócono więc, do prac Skłodowskiej-Curie i zaczęto na skalę przemysłową prowadzić sterylizację z użyciem promieniowania *gamma* (γ) i wiązki elektronów³. Tak więc, po przeszło 40 latach w praktyce zrealizowano koncepcję, którą, jak się wydaje zupełnie nieświadomie Skłodowska-Curie zgłosiła w cytowanej publikacji.

POCZĄTKI RADIACYJNYCH TECHNOLOGII

Przez wiele lat rynek wyrobów medycznych produkowanych z tanich tworzyw sztucznych stymulował rozwój chemii radiacyjnej polimerów, a w zasadzie postęp w technologii radiacyjnej w ogóle. Powstawały przemysłowe instalacje wyjaławiania, wyposażone w kobaltowe źródła promieniowania *gamma* i akceleratory elektronów. Obecnie coraz częściej wykorzystuje się dla tych celów promieniowania rentgenowskie i synchrotronowe. Sterylizacja radiacyjna zaczęła skutecznie konkurować z chemicznymi metodami wyjaławiania stosującymi toksyczny i wybuchowy tlenek etylenu. Dało to impuls do prac badawczych nad nowymi rozwiązaniami w zakresie akceleratorów elektronów, co w krótkim czasie obniżyło koszty radiacyjnej obróbki⁴. Zaczęto również intensywnie poszukiwać odpornych radiacyjnie tworzyw, czego wynikiem było powstanie nowej specjalności naukowej chemii radiacyjnej polimerów. Ten kierunek badawczy jest dynamicznie rozwijany do dnia dzisiejszego, o czym świadczy fakt, że co dwa lata odbywają się międzynarodowe konferencje

(*IRaP – Ionization Radiation and Polymers*) poświęcone wyłącznie problematyce oddziaływania promieniowania jonizującego na materiały polimerowe. W stosunkowo krótkim czasie obróbka radiacyjna stała się ogólnie dostępna i obecnie jest traktowana niemal jak rutynowa usługa. W naszym kraju, który ma duże osiągnięcia w dziedzinie przemysłowych zastosowań technik radiacyjnych, postawiono głównie na promieniowanie elektronowe. Podstawową zaletą technik akceleratorowych w porównaniu ze źródłami radioizotopowymi, wyposażonymi najczęściej w promieniotwórczy kobalt (^{60}Co) jest dużo większa moc dawki, a co za tym idzie możliwość dostarczenia energii promieniowania w bardzo krótkim czasie. Pozwala to zmniejszyć wydajność procesów postradiacyjnego utleniania, będących głównym czynnikiem degradacji polimerów. Akceleratory są również lepiej postrzegane w opinii społecznej, jako w pewnym sensie zwykłe urządzenia elektryczne, które po wyłączeniu nie stwarzają radiologicznego zagrożenia. Unikatowość radiacyjnych technologii polega na tym, że dany materiał można wyjaławiać i modyfikować w całej objętości, w opakowaniu jednostkowym i zbiorczym w praktycznie dowolnej temperaturze. W przypadku np. implantów kostnych, żywności lub obiektów archeologicznych może to być ujemna temperatura. Jak się ocenia, przeszło 50% wyrobów medycznych jednorazowego użytku na świecie jest obecnie radiacyjnie sterylizowanych.

ODKRYCIE ZJAWISKA RADIACYJNEGO SIECIOWANIA POLIMERÓW

Wiedza, jaką zdobyto badając radiolizę polimerów, zaowocowała zastosowaniami obróbki radiacyjnej tworzyw sztucznych w innych dziedzinach. Przełomowe okazało się odkrycie zjawiska sieciowania radiacyjnego polietylenu⁵. Dokonano go „przypadkowo” badając możliwości wykorzystania tworzyw polimerowych w energetyce jądrowej. Ze zdziwieniem stwierdzono, że w wyniku działania promieniowania jonizującego polietylen nie tylko nie pogarszał, ale przeciwnie polepszał właściwości użytkowe. Podważyło to panującą wówczas opinię, że w wyniku radiacyjnej obróbki zachodzą wyłącznie procesy degradacji polimerowych łańcuchów. Radiacyjna modyfikacja polietylenu zrobiła karierę. Obecnie na skalę przemysłową za pomocą promieniowań elektronowego i *gamma* sieciuje się kable i przewody elektryczne, rury i taśmy termokurczliwe, rury do przesyłu ciepłej wody, implanty chirurgiczne itd.

Komercyjnie działające instalacje radiacyjne pozwoliły na prowadzenie badań doświadczalnych nad

zastosowaniem radiacyjnej modyfikacji materiałów w innych dziedzinach, np. w elektronice, konserwacji dzieł sztuki⁶, oczyszczaniu wody i gazów spalinowych. W niedługim czasie zaowocowało to przemysłowym wykorzystaniem instalacji np. wyposażonych w wiązkę elektronów do modyfikacji układów elektronicznych na monokrystalicznym krzemie i sieciowania kauczuku we wspomnianych już oponach samochodowych⁷. We Francji zaczęto konserwować obiekty o znaczeniu historycznym poprzez tzw. radiacyjną konsolidację, czyli sieciowanie za pomocą promieniowania jonizującego roztworu polimeru w monomerze, którym wcześniej nasączono np. stare drewno.



Fot. 3. Przykład obiektu drewnianego poddawanej konserwacji przez radiacyjną konsolidację

ODDZIAŁYWANIE PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO NA ORGANIZMY ŻYWE

Na cytowany artykuł Skłodowskiej-Curie można spojrzeć również od strony radiobiologii, a ściślej mówiąc ochrony radiologicznej. Nawet pod koniec lat 20. XX w. wiedza na temat szkodliwości działania promieniowania jonizującego na organizm ludzki nie była wcale powszechna. Doświadczenia uczonej z bakteriami potwierdzały więc, że promieniowanie, w tym przypadku rentgenowskie może być groźne, a nawet śmiertelne dla żywych komórek. Pewnym paradoksem jest to, że sama uczona najprawdopodobniej otrzymała duże dawki promieniowania X prześwietlając żołnierzy na froncie I wojny światowej. Nie wszyscy wiedzą, że była pierwszą kobietą, która ukończyła kurs prawa jazdy na samochód ciężarowy, aby móc podróżować ambulansem marki *Renault* wyposażonym w aparat rentgenowski. Razem z córką Ireną zajmowała się głównie szkoleniem wojskowego personelu medycznego. Nie wiadomo jak duże dawki promieniowania otrzymała wtedy uczona.



Fot. 4. Maria Skłodowska-Curie w ambulansie wojskowym z aparatem rentgenowskim



Fot. 5. Maria Skłodowska-Curie wśród żołnierzy amerykańskich na froncie I wojny światowej



Fot. 6. Gabinet do prześwietleń rentgenowskich. Miały one na celu poszukiwanie odłamków w ciałach pacjentów

Jednak warto zaznaczyć, że obecnie dysponujemy technikami analitycznymi, za pomocą, których można byłoby spróbować je oszacować. Metoda Elektronowego Rezonansu Paramagnetycznego (EPR) pozwala ocenić liczbę wolnych rodników powstających w wyniku działania jonizującego promieniowania. Tak się składa, że kości i zęby są bardzo dobrymi naturalnymi dozymetrami, które nie tylko zbierają, ale również przechowują informacje o wielkości dawki promieniowania, jaką otrzymaliśmy za życia, a nasze doczesne szczątki po śmierci. Tę właściwość można wykorzystać dla celów datowania archeologicznych wykopaliisk. Taka praca została wykonana swego czasu w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie⁸. Wówczas określono wiek szczątków odkrytych w megalitycznych warunkach nuragi na Sardynii. Punktem odniesienia był grób rzymski, na którym zapisano datę śmierci zmarłego. Badając kawałek zęba rzymskiego legionisty, policzono średnią wielkość dawki, jaką od źródeł zewnętrznych (głównie radionuklidów obecnych w ziemi) otrzymuje się w tym rejonie. Analiza kości z wykopaliska nuragi pozwoliły oszacować wiek grobu na 1160 lat przed naszą erą. W podobny sposób określono również wielkości dawki promieniowania, jakie otrzymały pacjentki poszkodowane w 2001r. w czasie awarii urządzenia do terapii nowotworowej w Białymstoku. Poparzenie wywołane promieniowaniem jonizującym było na tyle poważne, że pacjentki wymagały interwencji chirurgicznej. W wyniku tych zabiegów usunięto fragmenty żeber, w których zapisana została informacja o wielkości pochłoniętej dawki. Oceniono ją na około 80 Gy⁹. Warto wyjaśnić, że ta bardzo duża dawka (większa od śmiertelnej) podana lokalnie nie spowodowała śmierci kobiet.

Reasumując można przyjąć, że dysponując niewielkimi próbkami kości małżonków Curie przechowywanymi w Panteonie francuskim, jesteśmy w stanie oszacować, na ile wielkości pochłoniętych przez nie dawek promieniowania odbiegają od przeciętnych i ocenić, jaki mogły one mieć wpływ na zdrowie uczonych. Oferta takich badań jest oczywiście stale aktualna wymaga jednak w pierwszej kolejności zgody rodziny na pobranie próbek.

KRZYWE INAKTYWACJI W ŚWIELE WSPÓŁCZESNEJ CHEMII RADIACYJNEJ

Wracając do przytaczanej na wstępie publikacji Skłodowskiej-Curie, warto raz jeszcze zauważyć, że prezentowane tam krzywe inaktywacji uczona uzyskała w wyniku eksperymentalnych badań. Wykorzystując współczesną wiedzę zdobytą przez wiele lat rozwo-

ju chemii radiacyjnej możemy podjąć się analizy tego problemu od teoretycznej strony. Punktem wyjścia jest zrozumienie niehomogeniczności oddziaływania promieniowania jonizującego z materią¹⁰. Elektrony przyspieszone w akceleratorze lub promieniowanie elektromagnetyczne dużej energii, wnikać do materiału, wywołują wtórną kaskadę elektronów, których pierwsze generacje powodują pojedyncze jonizacje w stosunkowo dużej odległości, nazywane „gniazdami jednojonizacyjnymi”. W miarę jak elektrony ulegają energetycznej degradacji odległości między jonizacjami zaczynają się zmniejszać, a elektrony ostatnich generacji powodują tak duże ich nagromadzenie, że stwarza to zupełnie nową sytuację z punktu widzenia zachodzących procesów chemicznych w materiale. Zjawisko odkładania energii przez elektrony o dużym LET (*Linear Energy Transfer*) opisywane jest za pomocą wyrażenia „gniazda wielojonizacyjnego”. W efekcie w napromienianej próbce uzyskujemy widmo uszkodzeń radiacyjnych o różnej wielkości odłożonej energii. Stąd różnorodność procesów chemicznych mogących przebiegać w następstwie zjawisk pierwotnych jest bardzo duża. W polimerach należy brać pod uwagę tworzenie się obok gniazd jednojonizacyjnych również powstawanie gniazd wielojonizacyjnych. W pewnym przybliżeniu można założyć, że około 20% energii zostanie odłożona w ten właśnie sposób. Produkty gniazd wielojonizacyjnych i jednojonizacyjnych różnią się w sposób zasadniczy. W pierwszym przypadku dochodzi do przerywania łańcucha i powstania produktów małowielkościowych, w drugim do oderwania najczęściej wodoru, po ewentualnym przemieszczeniu pierwotnego efektu (dziury lub stanu wzbudzonego).

Możliwość przemieszczania się energii i ładunku po łańcuchu tłumaczy bardzo interesujące zjawisko efektu ochronnego, jakie w organicznej chemii radiacyjnej wykazują związki aromatyczne^{11,12}. Aromatyczne pierścienie mają zdolność do rozpraszania energii pochłoniętego promieniowania jonizującego, same nie ulegając degradacji. Co więcej, działają również ochronnie na najbliższe otoczenie odbierając część energii od sąsiadujących polimerów alifatycznych. W niektórych publikacjach tłumaczy się efekt ochronny przeniesieniem wolnych rodników, co jest mniej prawdopodobne od wędrówki dodatniej dziury powstałej w wyniku pierwotnego aktu jonizacji. Przykład ten pokazuje, że nawet współcześnie toczy się wiele dyskusji na temat mechanizmów radiolizy, co podkreśla wagę i w pewnym sensie aktualność wyników prac eksperymentalnych Skłodowskiej-Curie.

Opisy te potwierdzają, że zjawiska chemiczne wywołane promieniowaniem jonizującym mają charakter

statystyczny. Krzywe inaktywacji można więc opisać zależnościami matematycznymi w oparciu o rachunek prawdopodobieństwa. Ilość gniazd jonizacyjnych o różnej ilości energii jest wprost proporcjonalna do dawki pochłoniętego promieniowania. Możemy więc w objętości obrabianego radiacyjnie materiału znaleźć miejsca, w których ilość energii wystarcza do spowodowania śmierci bakterii. Prawdopodobieństwo takiego zjawiska $P1$ obliczmy jako stosunek sumy objętości gniazd jonizacyjnych o odpowiednio dużej energii do całkowitej objętości zawierającej bakterie. Jednocześnie w komórce patogenu znajdują się miejsca czułe na promieniowanie jonizujące, których uszkodzenie prowadzi do efektu letalnego. Stosunek objętości takich wrażliwych organów do całkowitej objętości zawierającej bakterie jest prawdopodobieństwem $P2$, które zawiera w sobie parametr indywidualny związany z opornością danego szczepu komórek. Aby spowodować śmierć bakterii, muszą zajść obydwa zjawiska, tzn. określona ilość energii musi się znaleźć w odpowiednim miejscu bakterii. Prawdopodobieństwo efektu letalnego jest, więc iloczynem $P1$ i $P2$ i zależy od dawki promieniowania D oraz indywidualnych cech organizmu opisanych stałą k . Po prostych przeliczeniach otrzymuje się zależność przeżywalności bakterii od dawki promieniowania, czyli krzywą inaktywacji opisaną wzorem logarytmicznym:

$$N = N_0 e^{(-kD)},$$

w którym N to liczba bakterii, które przeżyły obróbkę radiacyjną materiału w stosunku do początkowej ich liczby oznaczonej jako N_0 . Łatwo zrozumieć, że trudniej jest radiacyjnie pozbyć się mniejszych obiektów (np. wirusów) i należy w tym celu użyć dużo większych dawek promieniowania. Widać również, że niezbędna do sterylizacji dawka promieniowania zależy od wstępnego skażenia wyrobu. Przy zastosowaniu podstawowej wiedzy z zakresu współczesnej chemii radiacyjnej udało się nam wyprowadzić teoretycznie zależność, która dobrze opisuje krzywe inaktywacji otrzymane przez Skłodowską-Curie. Należy jednak pamiętać, że na przełomie XIX i XX w. dokonywano dopiero fundamentalnych odkryć, które radykalnie zmieniły pogląd na budowę atomu. Na poznanie mechanizmów oddziaływania promieniowania na materiały trzeba było poczekać parę lat. Można dodać, że koncepcja gniazd jonizacyjnych w szczególności gniazd wielojonizacyjnych jest nadal przedmiotem dyskusji. Wielu autorów poważnych publikacji nadal pomija w swoich rozważaniach zjawiska zachodzące w wyniku oddziaływania elektronów o dużym LET z materią.

STERYLIZACJA RADIACYJNA

W chwili obecnej ponad tysiąc akceleratorów na całym świecie jest wykorzystywanych do prowadzenia prac z zakresu chemii i techniki radiacyjnej. Współczesne akceleratory charakteryzują się parametrami odpowiednio do potrzeb w danej dziedzinie zastosowań, przy czym energia elektronów nie przekracza 10 MeV. To ograniczenie daje gwarancję, że radiacyjna obróbka nie wywoła radioaktywności napromienionego materiału. Teoretycznie biorąc, w reakcjach fotojądrowych wysokoenergetycznego promieniowania $gamma$ z jądrami niektórych pierwiastków mogą tworzyć się izotopy radioaktywne (tabela 1). Dlaczego więc formalne ograniczenia dotyczą wiązki elektronów, a nie źródeł kobaltowych i cezowych? Otóż w kobaltowych instalacjach stosuje się kwanty promieniowania $gamma$ o energiach 1,33 MeV i 1,17 MeV, emitowane przez wzbudzone jadra ^{60}Ni , powstające w wyniku $beta$ rozpadu ^{60}Co . W przypadku bardzo nielicznych już źródeł cezowych do radiacyjnej obróbki wykorzystuje się kwanty promieniowania $gamma$ o jeszcze mniejszej energii. Wszystkie te energie są o rząd wielkości mniejsze od progów energetycznych aktywacji jądrowej. Radiacyjna obróbka w źródłach $gamma$ nie stwarza pod względem radiologicznym zagrożeń dla wyrobów. Oczywiście, z samymi źródłami należy obchodzić się ostrożnie i z tego powodu niekiedy cieszą się gorszą społeczną opinią niż urządzenia akceleratorowe.

Promieniowanie $gamma$ o dużej energii, z niewielką zresztą wydajnością powstaje, natomiast jako wynik hamowania elektronów. Szansa na to, że materiał po napromienieniu wiązką elektronów będzie radioaktywny, jest jednak bardzo mała. Po pierwsze, musiałby on zawierać miedź, ale i wówczas radionuklidy uległyby rozpadowi bardzo szybko. Tak więc, w zasadzie do sterylizacji polimerów można byłoby bezpiecznie wykorzystywać wiązki elektronów o energii np. 13 MeV. Jednak, aby zapobiec wszelkim nawet czysto hipotetycznym podejrzeniom o wzbudzenie radioaktywności w przypadku żywności, zwłaszcza konserwowanej za pomocą promieniowania elektronowego, wprowadzono restrykcyjne ograniczenia energii elektronów do wspomnianych już 10 MeV.

Obecnie promieniowanie jonizujące stosuje się również do sterylizacji farmaceutyków, kosmetyków, ziół, przypraw ziołowych, żywności, dezynfekcji zboża i dzieł sztuki. Ze względu na historyczny charakter publikacji, zwracamy uwagę na zastosowanie technik radiacyjnych do konserwacji obiektów zabytkowych. Za pomocą promieniowania jonizującego w prosty i skuteczny sposób możemy pozbyć się np. insektów z obiektów drewnianych.

Tabela 1. Pierwiastki o najniższych progach energetycznych dla reakcji fotojądrowych

Reakcja fotojądrowa	Próg energetyczny	Półokres rozpadu
$^{65}\text{Cu} (\gamma, n) ^{64}\text{Cu}$	10,2 MeV	12 godzin
$^{63}\text{Cu} (\gamma, n) ^{62}\text{Cu}$	10,9 MeV	10 minut
$^{64}\text{Zn} (\gamma, n) ^{63}\text{Zn}$	13,8 MeV	9 minut
$^{16}\text{O} (\gamma, n) ^{15}\text{O}$	16,3 MeV	2,1 minuty
$^{12}\text{C} (\gamma, n) ^{11}\text{C}$	18,7 MeV	21 minut

W odróżnieniu od metod chemicznych, sposoby radiacyjne eliminują również jaja szkodników. Za pomocą tlenu etylenu unieszkodliwiamy larwy i chrabąszcze, ryzykując jednak, że szkodniki wyklują się ponownie z nieuszkodzonych jaj owadów. Spektakularnym przykładem radiacyjnej konserwacji było wyjałowienie za pomocą promieniowania *gamma* młodego mamuta z przed 50 tysięcy lat^{13,14,15}. Zabiegu tego dokonano w ośrodku NucleArt w Grenobl we Francji.

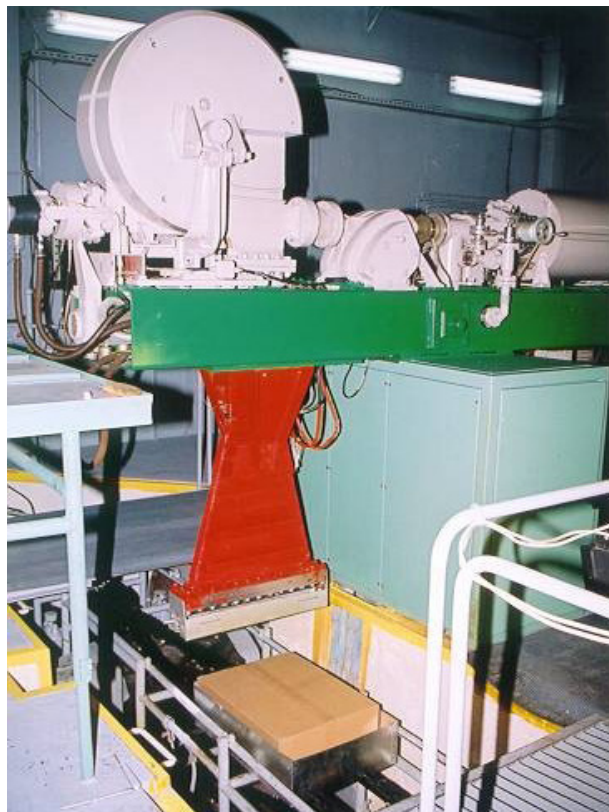


Fot. 7. Dziecko mamuta przygotowywane do radiacyjnego zabiegu wyjaławiania w temperaturze -22 °C

PIERWSZA POLSKA INSTALACJA AKCELERATOROWA DO RADIACYJNEJ MODYFIKACJI MATERIAŁÓW

Radiacyjną sterylizację z historycznego punktu widzenia możemy traktować jako polską specjalność. Warto więc wspomnieć na koniec o pierwszej krajowej instalacji akceleratorowej do radiacyjnej obróbki materiałów. Z inicjatywą budowy w Polsce akceleratora elektronów, przeznaczonego dla potrzeb chemii i techniki radiacyjnej, wystąpił prof. Z.P. Zagórski pod koniec lat 60. Wykorzystał on doświadczenia kilku staży zagranicz-

nych, w szczególności pobyt w ośrodku Risø w Danii, gdzie już od kilku lat działał taki właśnie akcelerator amerykańskiej produkcji. Wykonanie konstrukcji akceleratora zlecono Instytutowi Aparatury Elektrofizycznej im. Jefremowa w Leningradzie (obecnie *Sankt - Petersburg*). Prototyp wykonano szybko i pierwsze próby przeprowadzono w 1969 r. 17 stycznia 1971 r. akcelerator LAE 13/9 oficjalnie został oddany do użytku w Instytucie Badań Jądrowych na Żeraniu (obecnie Instytut Chemii i Techniki Jądrowej). Wszystkie urządzenia pomocnicze jak transporter, osłony przed promieniowaniem, śluzy itd. zostały wykonane w kraju. Akcelerator ten, co warto podkreślić, stał się dla Rosjan wyjściowym modelem dla konstrukcji przemysłowych akceleratorów elektronów. W wersjach przemysłowych, znacznie uproszczonych, nie stosowano na przykład odchylenia wiązki o 270°, aby nie tracić części energii.



Fot. 8. Liniowy akcelerator elektronów LAE 13/9. Urządzenie jest nadal sprawne i wykorzystywane zarówno dla celów technologicznych, jak i naukowych

Warto wyjaśnić, że wybór wykonawcy akceleratora miał w tym czasie polityczny charakter. Amerykanie nałożyli embargo na klisotrony (lampy elektronowe generujące mikrofałe dużej mocy) będące istotną częścią akceleratora, które można było również stosować w radarach dalekiego zasięgu. Z tego powodu Zakład Chemii Radiacyjnej nie mógł kupić bardzo dobrego akce-

leratora oferowanego przez francuską CSF – Thomson, specjalnie zaprojektowanego dla naszych wymagań w ramach projektu *Varsowie*. Aby uniknąć drażliwego tematu embarga, strona francuska podniosła po prostu cenę o 0,5 miliona dolarów, co automatycznie zamknęło dyskusje prowadzone w roku 1965 w Orsay pod Paryżem przez profesora Zagórskiego i zadecydowało o wyborze kontrahenta radzieckiego.

Przez wiele lat akcelerator LAE 13/9 był jedynym w kraju dużym źródłem promieniowania jonizującego w postaci wiązki przyspieszonych elektronów. Wykorzystywano go zarówno do komercyjnej działalności w zakresie sterylizacji radiacyjnej, jak i badań naukowych z udziałem wiązki prostej elektronów. W roku 1993 oddano do użytku pierwsze i nadal jedyne; Stację Sterylizacji Radiacyjnej Wyrobów Medycznych oraz Samodzielną Stację Utrwalania Płodów Rolnych. Obie wyposażono w przemysłowe akceleratory elektronów produkcji rosyjskiej o nazwie *Elektronika 10/10*.



Fot. 9. Profesor Jerzy Niewodniczański, prezes Państwowej Agencji Atomistyki dokonuje symbolicznego uruchomienia Stacji Sterylizacji Radiacyjnej Wyrobów



Fot. 10. Na zdjęciu pierwszy z lewej w pierwszym rządzie ówczesny dyrektor Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej doc. dr Lech Waliś. Pierwszy z prawej w pierwszym rządzie obecny dyrektor IChTJ prof. dr hab. Andrzej G. Chmielewski. W tle widać kartony ze strzykawkami sterylizowanymi wiązką szybkich elektronów



Fot. 11. W uroczystości uruchomienia Stacji Sterylizacji Radiacyjnej uczestniczyli od prawej: prof. dr hab. Zbigniew P. Zagórski, prof. dr hab. Jerzy Kroh, prof. dr hab. Jerzy Minczewski



Fot. 12. Uroczyste otwarcie Samodzielnej Stacji Radiacyjnego Utrwalania Płodów Rolnych. Drugi z lewej ówczesny dyrektor generalny Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej dr Hans Blix. Pierwszy z lewej dr Tadeusz Wójcik. Pierwszy z prawej dr Wacław Stachowicz

* * *

Radiacyjne technologie są obecnie intensywnie rozwijane na całym świecie. Powstają nowe kierunki badawcze, zwłaszcza w chemii radiacyjnej polimerów. Wspomniałem o radiacyjnej modyfikacji elastomerów intensywnie badanej głównie z punktu widzenia zastosowania w przemyśle oponiarskim. Wracam do tego tematu, gdyż w pewnym sensie autor jest prekursorem badań w tej dziedzinie w naszym kraju^{16,17,18}. Obecnie prace nad np. synergią procesów chemicznego i radiacyjnego sieciowania są prowadzone wspólnie z dawnym Instytutem Przemysłu Gumowego w Piastowie. Ten zasłużony dla krajowej chemii instytut zmienił ostatnio nazwę na Instytut Inżynierii Materiałowej Polimerów i Barwników oddział Zamiejscowy Elastomerów i Technologii Gumi w Piastowie. Jest szansa, że to właśnie obróbka radiacyjna elastomerów zrobi podob-

na „karierę”, jak sieciowanie polietylenu. W pewnym sensie ma to już miejsce. Jeżeli wierzyć doniesieniom prasowym, większość opon samochodowych w Japonii i duża część w USA jest produkowana z udziałem radiacyjnych technologii wykorzystujących urządzenia akceleratorowe. Korzyści wynikające z zastosowania jonizującego promieniowania do modyfikacji elastomeru są na tyle istotne, że wyniki badań są pilnie strzeżone przez duże koncerny chemiczne. Stąd konieczność prowadzenia własnych badań naukowych w tej dziedzinie. Jednak nie należy zapominać, że początki tym zaawansowanym technologiom dał skromny artykuł opublikowany przez Marię Skłodowską-Curie. I nawet, jeżeli jest to teza bardzo śmiała, to mamy nadzieję, że naszym artykułem udowodnimy, że nie mija się z prawdą.

dr Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura

1. M. Curie: *Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons X sur les bacilles*. Compte rendu 1929, 198, s. 102.
2. W. Głuszewski, Z.P. Zagórski, Q.K. Tran, L. Cortella: *Maria Skłodowska Curie - the precursor of radiation sterilization methods*. „Analytical and Bioanalytical Chemistry” 2011, 400, s. 1577-1582.
3. Z.P. Zagórski: *Sterylizacja Radiacyjna z elementami chemii radiacyjnej i badań radiacyjnych*. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa 2007, s. 272.
4. Z. Zimek: *Technika radiacyjna w PTJ*. „Postępy Techniki Jądrowej” 2008, Z.4, s. 15-22.
5. Z.P. Zagórski: *Pół wieku sieciowania radiacyjnego polietylenu, czyli pochwała nauki pozauczelnianej*. „Postępy Techniki Jądrowej” 2003, Z.4, s. 10-16.
6. W. Głuszewski: *Zastosowanie technik nuklearnych w identyfikacji i konserwacji dzieł sztuki*. „Postępy Techniki Jądrowej” 2009, Z.12, s. 12-14.
7. W. Głuszewski: *Radiacyjnie modyfikowane polimery w motoryzacji*. „Postępy Techniki Jądrowej” 2009, Z.2, s. 24-28.
8. J. Sadło, J. Michalik, W. Stachowicz, G. Strzelczak, A. Dziedzic-Góclawska, K. Ostrowski: *EPR study on bio-minerals as materials for retrospective dosimetry*. „Radiation Physics and Chemistry” 2006, 51, s. 421-423.
9. F. Trompier, J. Sadło, J. Michalik, W. Stachowicz, A. Mazal, I. Clairand, J. Rostkowska, W. Bulski, A. Kulakowski, J. Ślusznia, S. Goźdz and A. Wojcik: *EPR dosimetry for actual and suspected overexposures during radiotherapy treatments in Poland*. „Radiation Measurements” 2007, 2, s. 1025-1028.
10. W. Głuszewski, Z.P. Zagórski: *Application of gas chromatography to the investigations on polypropylene radiolysis*. “INCT Annual Report 2005”, Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Warsaw 2006, s. 42.
11. W. Głuszewski, Z.P. Zagórski: *Radiation effects in polypropylene/polystyrene blends as the model of aromatic protection effects*. “Nukleonika” 2008, 53(1), s. 21-24.
12. T.T. Do, V.J. Tang, J.A. Aguilera, J. R. Milligan: *Structure reactivity relationship in the reaction of DNA guanyl radicals with hydroxybenzoates*. “Radiation Physics and Chemistry” 2010, 79 s. 1144-1148.
13. R. Mesquita: *Ice Age baby mammoth on display at French museum*. “Associated Press” 2010, 16/07.
14. Agence France Presse: *Le plus vieux bébé mammoth du monde sera exposé jeudi soir au Puy-en-Velay*. 13/07/2010.
15. L. Balout, C. Roubet: *La Momie de Ramsès II – Contribution scientifique à l'égyptologie*. Ch. 9 Thérapeutique par irradiation, Editions Recherche sur les Civilisations, 1985, Paris.
16. Z.P. Zagórski, M. Rajkiewicz, W. Głuszewski: *Radiacyjna modyfikacja elastomerów*, „Przemysł Chemiczny” 2011, 6, s. 1191-1194
17. W. Głuszewski, Z. P. Zagórski: *Procesy radiacyjnego sieciowania polimerów*. „Tworzywa Sztuczne i Chemia” 2010, 2, s. 58-60
18. J. Bik, W. Głuszewski, W.M. Rzymiski, Z.P. Zagórski: *EB radiation crosslinking of elastomers*. „Radiation Physics and Chemistry” 2003, 67, s. 421

STRESZCZENIE

Artykuł powstał w związku z 80. rocznicą otwarcia w Warszawie Instytutu Radowego.

Maria Skłodowska-Curie była między innymi prekursorką chemii radiacyjnej, nauki zajmującej się zjawiskami chemicznymi wywołanymi przez działanie promieniowania jonizującego na materię. Rozwój tej dziedziny wiedzy zaowocował w późniejszym okresie praktycznymi zastosowaniami technik radiacyjnych w wielu dziedzinach przemysłu, medycyny, rolnictwa, ochrony środowiska, badań kosmicznych i nauki.

Jako punkt wyjścia posłużył artykuł *Sur l'étude des courbes de probabilité relatives à l'action des rayons X sur les bacilles*, który Maria Skłodowska-Curie opublikowała w roku 1929 w Biuletynie Francuskiej Akademii Nauk. Autorka przedstawiła wówczas po raz pierwszy

w dziejach krzywe tzw. radiacyjnej inaktywacji, czyli zależności między przeżywalnością bakterii a wielkością pochłoniętej dawki promieniowania. Z dzisiejszego punktu widzenia można powiedzieć, że uczona stworzyła podwaliny metod sterylizacji radiacyjnej i radiacyjnej modyfikacji materiałów.

W tym kontekście przypominamy dzieje pierwszej polskiej instalacji akceleratorowej uruchomionej w roku 1968 w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Na bazie doświadczeń z liniowym akceleratorem elektronów LAE 13/9 powstały w roku 1992 jedyne, jak dotąd w kraju, przemysłowe stacje do radiacyjnej sterylizacji wyrobów medycznych i przeszczepów oraz utrwalania produktów rolnych.



PROTOKÓŁ Z KIOTO PRZEDŁUŻONY

W sobotę, 8 grudnia zakończyła się konferencja klimatyczna ONZ COP 18. Najważniejszym osiągnięciem szczytu jest zgoda w sprawie przedłużenia protokołu z Kioto do 2020 r. (tzw. drugi okres rozliczeniowy). Delegaci zobowiązali się także do dalszych rozmów dotyczących finansowania redukcji emisji gazów cieplarnianych w krajach rozwijających się.

Do drugiego okresu rozliczeniowego protokołu z Kioto nie przystąpili najwięksi emitenci gazów cieplarnianych, m.in. Chiny i Stany Zjednoczone. Podczas konferencji w Doha udało się jednak potwierdzić wcześniejsze ustalenia z konferencji COP 17 w Durbanie. Oznacza to, że w przyszłym roku, tym razem podczas COP 19 w Polsce, rozpoczną się rozmowy, których celem ma być globalne porozumienie w sprawie redukcji gazów cieplarnianych, które po raz pierwszy w historii obejmie wszystkie największe gospodarki świata. Jednocześnie porozumienie to zakończy archaiczny podział państw na kraje rozwinięte i rozwijające się, do których należą obecnie m.in. Chiny.

Podczas konferencji w Doha delegaci wyrazili także zgodę na przeniesienie, na drugi okres rozliczeniowy, posiadanych jednostek do emisji gazów cieplarnianych AAU. Kraje posiadające takie jednostki, w tym Polska, będą mogły dalej nimi dysponować. Dla kupców niewypełniających celów redukcyjnych wprowadzone zostały restrykcje określające ściśle, ile jednostek będą mogli nabyć.

– Wynik szczytu przyjmuję z umiarkowanym zadowoleniem. Udało się nam osiągnąć główny cel, jakim

było przedłużenie protokołu z Kioto na kolejny okres. Czas, który otrzymaliśmy pozwoli nam na wypracowanie nowego porozumienia w sprawie redukcji emisji gazów cieplarnianych, które tym razem obejmie już wszystkie największe gospodarki świata, w tym największych emitentów, jak Stany Zjednoczone czy Chiny – mówi Marcin Korolec, minister środowiska. – Niestety, w Doha bardzo jasno widoczny był podział na państwa, które chciały przedłużenia protokołu z Kioto i te, które nie były tym zainteresowane.

Kolejna konferencja klimatyczna COP 19 będzie dla Polski dużym wyzwaniem, nie tylko od strony prowadzonych negocjacji. Podczas szczytu w Doha oficjalnie została już zatwierdzona kandydatura Polski na gospodarza kolejnego COP-u.

*Opracował Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

źródło: Ministerstwo Środowiska



MIĘDZYNARODOWE FORUM ENERGETYKI JĄDROWEJ

29 listopada w warszawskim hotelu Sheraton odbyło się Międzynarodowe Forum Energetyki Jądrowej. Organizatorem spotkania były: magazyn *The Warsaw Voice* oraz *Power Meetingspl* wyspecjalizowana firma konferencyjno-szkoleniowa.

Merytorycznie spotkanie wsparła PGE Energia Jądrowa, a finansowo liczne grono sponsorów, wśród których zwracali uwagę amerykańscy i japońscy producenci reaktorów jądrowych. Konferencję należy uznać za interesującą między innymi z uwagi na udział osób kompetentnych, takich jak: Hanna Trojanowska, pełnomocnik rządu ds. polskiej energetyki jądrowej, podsekretarz stanu w Ministerstwie Gospodarki, Marzena Piszczek, wiceprezes Zarządu PGE Energia Jądrowa, Andrzej Czerwiński, Parlamentarny Zespół ds. Energetyki, prof. Andrzej Kraszewski, Politechnika Warszawska, minister środowiska w latach 2010-2011, prof. Grzegorz Wrochna, dyrektor Narodowego Centrum Badań Jądrowych, prof. Andrzej Chmielewski, dyrektor Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, Robert Pearce, dyrektor International Project Development, Westinghouse-Toshiba, Ziemowit Iwański, Region Executive, GE Hitachi Nuclear Energy, Dariusz Szwed, przewodniczący Partii Zieloni 2004 oraz innych ekspertów. Poza wystąpieniami merytorycznymi odbyły się dyskusje tzw. okrągłego stołu poświęcone takim tematom, jak: Bilans energetyczny Polski i regionu Europy Środkowej w perspektywie



Fot. 1. Panel na temat współczesnych reaktorów jądrowych

50 lat. Czy zaspokojenie ówczesnego zapotrzebowania będzie możliwe bez energetyki jądrowej? Jak realna jest alternatywa dla tego źródła energii? Współczesne technologie stosowane w najnowocześniejszych siłowniach atomowych. Czy są bezpieczne? Czy Polskę stać na budowę siłowni jądrowej? Stosunek Polaków i mieszkańców innych krajów do energetyki jądrowej. Jaka jest perspektywa wyników spodziewanej debaty publicznej i politycznej, poświęconej bezpieczeństwu, ochronie środowiska i opłacalności? Czy inne państwa regionu będą posiłkowały się tym źródłem energii, czy też ostatecznie się z niego wycofają? Jaki stosunek do energetyki jądrowej zostanie zapisany w uregulowaniach prawa polskiego, obowiązującego w krajach sąsiednich oraz prawa międzynarodowego? Budowa i eksploatacja siłowni atomowej. Kto będzie budował naszą elektrownię? Jak długo będzie to trwało? Jakie koszty trzeba ponieść i skąd będą pochodziły fundusze? Jakie są ekonomiczne perspektywy tej siłowni w kontekście rynku krajowego i regionalnego? Producenci instalacji jądrowych przedstawili najnowsze rozwiązanie dedykowane potrzebom polskiej energetyki. Podkreślano, że wszystkie współczesne reaktory jądrowe wytrzymałyby kataklizm, jaki nawiedził Japonię i spowodował uszkodzenia starych reaktorów w Fukushima. Obecnie reaktor jądrowy, co najmniej 3 dni po awaryjnym wyłączeniu radzi sobie sam z chłodzeniem bez obecności obsługi. W wypadku np. tsunami operatorzy mogą opuścić elektrownię i przenieść się w bezpieczne miejsce. W przypadku rozwiązania GE po siedmiu dniach należy cysterną dostarczyć wodę do dalszego schładzania reaktora. Systemy bezpieczeństwa są standardem w obecnych siłowniach nuklearnych i były stosowane jeszcze przed awarią w Fukushima. Tak, więc systemy bezpieczeństwa nie zwiększają kosztów zakupu technologii w porównaniu do pierwotnych ofert. Z dyskusji wynikało, że obecnie podstawową kwestią nie są problemy technologiczne, a raczej finansowo-ad-

ministracyjne. Niezależnie, którą technologię ostatecznie wybiorą inwestorzy będzie ona z całą pewnością sprawdzona i bezpieczna. Wiceprezes ds. finansowych spółki PGE Energia Jądrowa Marzena Piszczek, podkreśliła jednak, że bez wsparcia ze strony państwa i pewnych regulacji nie da się zagwarantować ekonomicznej przewidywalności projektu jądrowego. Pogląd taki zaprezentował ostatnio na spotkaniu prasowym prezes PGE Krzysztof Kilian. Inwestorzy chcą mieć gwarancje, że nie powtórzy się historia Żarnowca. Podczas spotkania odbyła się także dyskusja ze zwolennikami odnawialnych źródeł energii. Podkreślano, że energetyka jądrowa nie jest zagrożeniem dla wiatraków, biomasy, węgla i energetyki solarnej. Wprost przeciwnie zapewni ona dostawę energii w okresie, kiedy z powodów naturalnych zabraknie słońca lub wiatru. Paradoksalnie obecnie organizacje ekologiczne zaczynają namawiać do energetyki węglowej. Wydają się zupełnie nie zauważać degradacji środowiska naturalnego np. na Śląsku. Należy jednak wyraźnie podkreślić, że w każdym wariantcie miksu energetycznego dla Polski na najbliższe kilkadziesiąt lat podstawowe znaczenie będzie mieć energetyka węglowa. ■

29 listopada 2012

Międzynarodowe Forum ENERGETYKI JĄDROWEJ



POLSKIE NOBLE 2012

Fundacja na rzecz Nauki Polskiej po raz dwudziesty pierwszy przyznała nagrody, które traktowane są jako najważniejsze, prestiżowe wyróżnienie naukowe w naszym kraju. Tegorocznymi laureatami zostało czworo wybitnych polskich uczonych – prof. Krzysztof Palczewski, prof. Mieczysław Mąkosza, prof. Maciej Wojtkowski, prof. Ewa Wipszycka. Uroczystość wręczenia nagród laureatom tradycyjnie odbyła się na Zamku Królewskim. Wyróżnieni obok pamiątkowych dyplomów otrzymali czeki na 200 tys. złotych.

Polskie Noble jak się popularnie nazywa nagrody przyznawane są za szczególne osiągnięcia i odkrycia naukowe, które przesuwają granice poznania i otwierają nowe perspektywy poznawcze, wnoszą wybitny wkład w postęp cywilizacyjny i kulturowy naszego kraju oraz zapewniają Polsce znaczące miejsce w podejmowaniu najbardziej ambitnych wyzwań współczesnego świata. Kandydatów do Nagrody FNP, zgodnie z jej regula-

minem, zgłaszać mogą wybitni przedstawiciele nauki zaproszeni imiennie przez Zarząd i Radę Fundacji. Rolę Kapituły konkursu pełni Rada Fundacji, która dokonuje wyboru laureatów na podstawie opinii niezależnych recenzentów i ekspertów oceniających dorobek kandydatów. W skład Rady w obecnej kadencji wchodzi profesorowie: Andrzej Jerzmanowski (Wydział Biologii UW i Instytut Biochemii i Biofizyki PAN) – przewodniczący Rady, Irena E. Kotowska (Instytut Statystyki i Demografii SGH) – wiceprzewodnicząca Rady, Leon Gradoń (Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej), Henryk Koroniak (Wydział Chemii UAM), Marek Świtoński (Katedra Genetyki i Podstaw Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu), Wojciech Tygielski (Instytut Historii Sztuki, Wydział Historyczny UW), Karol I. Wysokiński (Zakład Teorii Fazy Skondensowanej UMCS). Nagrody są przyznawane w czterech obszarach: nauk o życiu i o Ziemi, nauk chemicznych i o materiałach, nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich oraz nauk humanistycznych i społecznych. Grono laureatów, łącznie z tegorocznymi zdobywcami Nagrody, liczy już 76 osób.

Krótkie informacje o tegorocznych laureatach.

Prof. Krzysztof Palczewski (1957, Syców, woj. Dolnośląskie) otrzymał Nagrodę FNP w obszarze nauk o życiu i o Ziemi. Laureat jest biochemikiem, dyrektorem Wydziału Farmakologii na *Case Western Reserve University* w *Cleveland* (USA). Uznawany jest za światowy autorytet w zakresie biochemii wzroku. Do jego najważniejszych dokonań należy skryształizowanie i opisanie struktury rodopsyny oraz odkrycie mechanizmów powodujących prowadzącą do utraty wzroku degenerację siatkówki oka (w szczególności plamki żółtej). Konsekwencją odkrycia było znaczące przyspieszenie badań nad widzeniem, ale także rozpoczęcie prac nad uzyskaniem modeli strukturalnych wielu innych receptorów białek G. Poznanie struktury rodopsyny, to pierwszy krok do stworzenia substancji terapeutycznych, które będą bardziej precyzyjne w przekazywaniu informacji do komórki i tym samym – bardziej skuteczne w leczeniu chorób wzroku. Za badania nad tymi receptorami dwóm badaczom, wykorzystującym osiągnięcie prof. Palczewskiego, przyznano w tym roku Nagrodę Nobla. Rodopsyna, to białko umiejscowione m.in. w komórkach siatkówki oka. Należy ona do niezwykle ważnej, z punktu widzenia funkcjonowania organizmu, rodziny białek, które uczestniczą w procesie komunikacji komórki ze światem zewnętrznym. Białka te są receptorami, które potrafią odebrać sygnał z otoczenia i przekazać go w komórce do tzw. białek G. Te natomiast uruchamiają

dalszy mechanizm, w wyniku, którego komórki naszego organizmu są w stanie przyjąć sygnał zewnętrzny i odpowiedzieć na niego. Zrozumienie sposobu, w jaki działają umieszczone w błonie komórkowej receptory (tzw. receptory sprzężone z białkami G), jest niezwykle ważne w kontekście poszukiwania nowych leków na wiele chorób, w szczególności chorób neurologicznych. Większość leków działa, bowiem właśnie przez owe receptory, to one odbierają „sygnał” od substancji farmakologicznych i przekazują je dalej do wnętrza komórki.

Prof. Mieczysław Mąkosza (1934, Cieszewili k. Baranowicz obecnie Białoruś) z Instytutu Chemii Organicznej PAN został uhonorowany Nagrodą FNP w obszarze nauk chemicznych i o materiałach za *opracowanie i wprowadzenie do kanonu chemii organicznej nowej reakcji – Zastępczego Podstawienia Nukleofilowego*. Światowe uznanie zyskał dzięki pionierskim badaniom o fundamentalnym znaczeniu dla rozwoju chemii organicznej, znajdującym także szerokie zastosowanie praktyczne w przemyśle chemicznym i farmaceutycznym. Reakcję aromatycznej substytucji nukleofilowej opisano już w połowie ubiegłego wieku i od tego czasu wykorzystywano do różnych celów w syntezie organicznej. Przez wiele lat przeważał pogląd, że reakcji substytucji nukleofilowej mogą ulegać jedynie chlorki oraz inne grupy nukleofugowe. Prof. Mąkosza udowodnił, że pogląd ten jest mylny oraz wykazał, że w określonych warunkach reakcja aromatycznej substytucji nukleofilowej może zachodzić jako podstawienie atomu wodoru, przy czym jest to proces szybszy od ogólnie znanej substytucji chloru. Głównym osiągnięciem Laureata Nagrody FNP jest odkrycie i wyjaśnienie szczegółowych cech reakcji zastępczego podstawienia nukleofilowego (zwanej także VNS od Vicarious Nucleophilic Substitution), takich jak orientacja, zakres i ograniczenia, a także subtelnych szczegółów jej mechanizmu. Dokonanie to w znaczny sposób przyczyniło się do rozwoju chemii organicznej zarówno w sensie intelektualnym, jak i praktycznym. Odkryta przez prof. Mąkoszę metoda stała się kanonem w syntezie organicznej i jest do dzisiaj wykorzystywana w syntezie i wytwarzaniu wielu różnych związków chemicznych o znaczeniu praktycznym (głównie leki, środki ochrony roślin, barwniki, etc.).

Prof. Maciej Wojtkowski (1975, Włocławek) z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu otrzymał Nagrodę FNP w obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich za *opracowanie i wprowadzenie do praktyki okulistycznej metody tomografii optycznej z detekcją fourierowską*. Zaprojektował i skonstruował tomograf do badania siatkówki oka, pozwalający na nieinwazyjne i bezkontaktowe badania wnętrza oka. W latach 2003-2006 trzy prototypy tomografu były testowane

w klinikach okulistycznych w Bostonie, Pittsburghu oraz Bydgoszczy. Od 2005 r. współpracuje z polską firmą OPTOPOL (przejętą w 2009 r. przez koncern Canon) przy produkcji tomografu na skalę przemysłową, co pozwala na wykorzystywanie tych urządzeń w codziennej praktyce okulistycznej oraz badaniach klinicznych na całym świecie. Tomografia optyczna OCT (Optical Coherence Tomography) pozwala na rekonstruowanie za pomocą światła trójwymiarowej struktury tkanki z rozdzielczością rzędu mikrometrów. Umożliwia ona bezbolesną i prowadzoną na żywo obserwację funkcji i struktur organizmu. Laureat Nagrody Fundacji na rzecz Nauki Polskiej od początku swojej kariery naukowej rozwija tę metodę, powiększając jej możliwości i potencjał diagnostyczny w praktyce okulistycznej. Jego pionierski wkład w dziedzinę tomografii optycznej to zastosowanie metod detekcji fourierowskiej w obrazowaniu przestrzennym oka. Podstawowym zastosowaniem nowej metody jest nieinwazyjna i błyskawiczna obserwacja patologicznych zmian siatkówki, np.: jaskry, zwyrodnienia plamki, otworów w plamce, odklejenia siatkówki i innych. Radykalnie poprawia ona szybkość i rozdzielczość analizy do poziomu niemożliwego do uzyskania wcześniej w warunkach klinicznych. Metoda wypracowana przez Macieja Wojtkowskiego (FD-OCT) zmieniła kierunek badań współczesnej okulistyki, a przy tym – wywarła ogromny wpływ na rozwój metod i procedur klinicznych i co za tym idzie – na komfort pacjentów i jakość danych dostępnych lekarzom na całym świecie. Jego praca badawcza jest rzadkim przykładem pracy teoretycznej i doświadczalnej z fizyki, która w krótkim czasie znalazła zastosowania w praktyce i doprowadziła do produkcji nowych urządzeń diagnostycznych. W ciągu kilku lat od zaproponowania metody FD-OCT praktycznie wyparła ona wcześniejszą technologię diagnostyki stanów chorobowych siatkówki i stała się podstawą dla produkcji aparatury medycznej o wartości 1 mld dolarów w USA i kolejnego 1 mld dolarów w innych krajach. Tomografy optyczne oparte na tej technologii produkowane są także w Zawierciu i używane w klinikach w całej Polsce oraz sprzedawane na całym świecie. Tomografia optyczna z detekcją fourierowską może być także zastosowana do badań struktur komórek narządów innych niż oko. Obecnie trwają prace nad komercjalizacją tej technologii w kardiologii i endoskopowej diagnostyce nowotworów.

Prof. Ewa Wipszycka (1933, Warszawa) z Uniwersytetu Warszawskiego została laureatką Nagrody FNP w obszarze nauk humanistycznych i społecznych za *wszechstronną rekonstrukcję funkcjonowania wspólnot klasztornych w późnoantycznym Egipcie*. Redaktor „The Journal of Juristic Papyrology” (od 1989 r.), współza-

łożycielka i redaktor (od 1957 r.) miesięcznika „Mówią wieki”. Od 2002 r. Prezes Zarządu Fundacji im. Rafała Taubenschlaga. Nagrodzona monografia *„Moinés et communautés monastiques en Égypte, IVe–VIIIe siècles”* („Mnisi i wspólnoty monastyczne w Egipcie, wieki IV–VIII”) podsumowuje trzy dekady badań Laureatki nad przestrzenną, wspólnotową i ekonomiczną organizacją klasztorów zlokalizowanych nad Nilem w pierwszych wiekach chrześcijaństwa. Dzieło przedstawia przyrodnicze i kulturowe uwarunkowania funkcjonowania tych wspólnot oraz materialne warunki codziennego życia mnichów. Wnikliwy opis sytuacji klasztorów egipskich powstał w wyniku przeprowadzonych przez prof. Wipszycką studiów historycznych, ale także archeologicznych badań terenowych i studiów papirologicznych. Wyróżniona monografia jest, więc precyzyjnie skonstruowanym, interdyscyplinarnym kompendium wiedzy o zakładanych w Egipcie wspólnotach klasztornych i żyjących w nich mnichach. Bogato ilustrowane dzieło stanowi znaczący wkład w zrozumienie procesów społeczno-kulturowych, które miały miejsce na tym obszarze u schyłku cywilizacji antycznej. Pozwala również poznać i lepiej zrozumieć początki chrześcijaństwa i chrześcijańskiego życia klasztorowego w Egipcie, które znalazło swoją kontynuację w średniowiecznej działalności zakonów na zachodzie Europy i w Bizancjum. ■



XXIII SZKOŁA PTBR

W Zakopanem w dniach 5–9 listopada odbyła się 23 jesienna Szkoła Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych imienia Marii Skłodowskiej-Curie. Spotkania te mają liczącą przeszło 25 lat tradycję. Organizowane są co roku za wyjątkiem lat w których zwołuje się Zjazdy PTBR.

Tematyka szkół jest zmienna, często dostosowywana do aktualnych potrzeb, rozszerzana o informacje dotyczące atomistyki. Poruszane są zagadnienia z zakresu chemii radiacyjnej, radiobiologii, technologii radiacyjnych, ochrony radiologicznej, energetyki jądrowej oraz ekspozycji na promieniowanie niejonizujące.

Miejscem - szkół jest niezmiennie zimowa stolica Polski Zakopane. Jak zwykle poza możliwością zdobycia wiedzy spotkania dają również okazję do zadbania o kondycję fizyczną w czasie spacerów po pięknych Tatrach. Tematem przewodnim tegorocznej szkoły były „Współczesne zagrożenia ze strony promieniowań jonizujących i niejonizujących oraz zasady przeciwdziałania



Fot. 1. Przed wykładami wycieczki w zimowe już Tatry

i udzielania pomocy”. Na program składały się wykłady zaproszonych prelegentów oraz krótkie komunikaty wygłaszane przez uczestników. Prelegentami byli radiobiolodzy, lekarze, chemicy radiacyjni oraz eksperci z takich renomowanych instytucji jak: Zakład Radiobiologii i Ochrony Radiologicznej Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii (WIHE), Zakład Ochrony Mikrofalowej WIHE, Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie, Klinika Endokrynologii i Terapii Izotopowej Wojskowego Instytutu Medycznego, Centrum Zdarzeń Radiacyjnych CEZAR, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego, Wojskowa Akademia Techniczna, Politechnika Wrocławska, Wojskowy Instytut Medycyny Lotniczej, Uniwersytet w Sztokholmie, Instytut Medycyny Pracy, Komenda Główniej Policji, Gdański Uniwersytet Medyczny, Centralny Instytut Ochrony Pracy.

Uczestnicy otrzymali kompendium wiedzy od podstaw oddziaływania promieniowania jonizującego i niejonizującego na materię żywą i nieżywą do praktycznych aspektów ochrony radiologicznej. Wykłady zostały opublikowane w postaci obszernego tomu monografii. Interdyscyplinarny charakter szkoły stworzył okazję do dyskusji specjalistów z różnych dyscyplin naukowych. W kontekście wydarzeń w Fukushima starano się ocenić potencjalne zagrożenia radiacyjne ze strony planowanych polskich elektrowni jądrowych.

Wiele miejsca poświęcono tematowi oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego i niejonizującego. Najczęściej dyskutuje się o wpływie telefonii komórkowej na zdrowie ludzi. Warto uspokoić Czytelników, że dotychczasowe badania nie udowodniły szkodliwego wpływu zarówno stacji bazowych, jak i samych telefonów na ich użytkowników. Nie wszyscy natomiast zdają sobie sprawę z obecnych zagrożeń atakami terrorystycznymi z użyciem silnych impulsów elektromagnetycznych. Problem ochrony kluczowych obiektów teleinformatycznych staje się bardzo aktualny. Osobnym niejako zagadnieniem jest użycie impulsów elektromagnetycznych na współczesnym polu walki. ■



ENERGIA JĄDROWA DLA POLSKI?

Od 18 grudnia tego roku akcje spółki Inter RAO Lietuva są notowane na warszawskiej giełdzie papierów wartościowych. Spółka handluje energią elektryczną na wiodącej europejskiej giełdzie Nord Pool Spot. Planuje również rozszerzyć działalność o polski rynek energii.



Fot. 1. Członkowie Zarządu Inter RAO Lietuva

Po powstaniu mostu energetycznego pomiędzy Litwą i Polską może świadczyć usługi importu i eksportu energii. Litwa od 2010 r., po zamknięciu elektrowni jądrowej w Ignalinie importuje zdecydowaną większość zużywanej energii. Na kształt rynku energetycznego w regionie może wpłynąć powstanie nowych elektrowni jądrowych. Litwa rozważa budowę siłowni atomowej Visaginas o mocy 1350 MW. Jednak ostatni niekorzystny dla opcji nuklearnej wynik referendum zmusza litewski rząd przynajmniej na razie do rezygnacji z tych planów. Kontynuowana jest natomiast budowa rosyjskiej elektrowni jądrowej Baltiskaja o mocy 2388 MW w obwodzie Kaliningradzkim. Nowe połączenia energetyczne pozwolą Inter RAO sprzedawać produkowaną tam energię elektryczną również na rynku polskim. Firma, której większościowym udziałowcem jest państwowa firma rosyjska już podpisała wstępne umowy na zakup mocy. Elektrownia Baltiskaja powinna rozpocząć produkcję w roku 2017. ■

*Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



FESTIWAL NAUKI 2012

W dniach 21-30.09.2012 r. odbywał się w Warszawie już XVI Festiwal Nauki. Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie Polskiego Towarzystwa Chemicznego po raz kolejny wzięło w nim udział.

Uczestnikom proponowano wielorakie atrakcje; pokazy chemiczne, warsztaty, gry i zabawy edukacyjne, wreszcie wykłady i projekcje filmowe połączone ze spotkaniem z reżyserami i bohaterami filmów. W naszej ofercie znalazły się propozycje dla szkół podstawowych, gimnazjów, liceów, a także dla osób dorosłych zainteresowanych tematyką energetyki jądrowej i perspektyw jej rozwoju w naszym kraju oraz historią powstania, rozwojem i losami Instytutu Radowego otwartego w Warszawie przez Marię Skłodowską-Curie dokładnie 80 lat temu.

W pierwszy weekend festiwalu, w sobotę zaprosiliśmy do obejrzenia dwóch filmów o uczoney, które powstały w roku Marii Skłodowskiej-Curie i Międzynarodowym Roku Chemii oraz na spotkanie i rozmowę z reżyserem jednego z nich, Krzysztofem Rogulskim. Prezentowane filmy to: „Śladami Marii Curie” reż. K. Rogulski, w rolę Marii Skłodowskiej-Curie wcieliła się Elżbieta Duda. Film stanowi także zapis rozmów z kobietami, przedstawicielkami różnych narodów, pracującymi naukowo w różnych ośrodkach naukowych na świecie opowiadającymi o niezwykle pełnych tajemnic i wspaniałości świecie nauki, do którego dostęp umożliwiła im pośrednio właśnie Maria Skłodowska-Curie. Była dla nich przykładem, że w życiu można osiągnąć wszystko co się chce, jeśli działaniu towarzyszy pasja i pracowitość. Drugim prezentowanym filmem był obraz zrealizowany przez Alicję Albrecht, zatytułowany „Maria”, w roli dojrzałej uczoney wystąpiła Joanna Szczepkowska. Pozostałe atrakcje sobotnie i niedzielne były adresowane głównie do dzieci i młodzieży. Zaproszono ich do cudownego świata chemii i techniki jądrowej.

Odbywały się pokazy chemiczne, zabawy edukacyjne m.in. Atomowy Quiz, podczas którego uczestnicy mogli w formie zabawy zapoznać się z pojęciami dotyczącymi promieniotwórczości oraz życia i dokonań uczoney, wejść do magicznego ogrodu, wyprodukować atrament sympatyczny, zobaczyć co pożera papier, a także posłuchać o promieniowaniu, tym, naturalnym i sztucznym.

Ostatni weekend festiwalu to dni poświęcone Instytutowi Radowemu w Warszawie w 80. rocznicę jego powstania oraz tematyce energetyki jądrowej. W ramach spotkania weekendowego poświęconego Instytutowi Radowemu w Warszawie zaprezentowano wykład pt. „Historia Instytutu Radowego w Warszawie”, wygłoszony przez prof. A. Kułakowskiego, prezesa Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie, zaprezentowano ścieżkę edukacyjną znajdującą się przy ul. Wawelskiej 15 (przy budynku Instytutu), pokazano film i opowiedziano o losach radu podarowanego Instytutowi przez Marię Skłodowską-Curie, przedstawiono wojenne losy Instytutu i jego pacjentów.

„Polska niepodległa powinna mieć jak każdy kraj swój instytut radowy. Początek tego instytutu istnieje w pracowni radiologicznej założonej za moją inicjatywą w Warszawie (...). Znaczna suma jest potrzebna, aby przekształcić tę pracownię w instytut przeznaczony nie tylko dla prac naukowych, lecz również dla leczenia chorych bez względu na zamożność. Gdyby kolonia polska w Ameryce zechciała postawić sobie za cel jak najprędze utworzenie tego instytutu, byłby to niewątpliwie czyn obywatelski wysokiej doniosłości”. Tak brzmiał fragment wystąpienia Marii Skłodowskiej-Curie skierowany do Polonii w Chicago w czerwcu 1921 r. Tak więc, pomysł stworzenia w Polsce placówki bliźniaczej do paryskiego Instytutu Radowego narodził się w umyśle i sercu uczoney już wtedy, a może jeszcze wcześniej. Możliwe już w roku 1913, kiedy osobiście otworzyła Pracownię Radiologiczną przy ul. Śniadeckich (dawniej Kaliksta) w Warszawie, niedaleko Politechniki Warszawskiej. Została wtedy honorowym dyrektorem placówki, na miejscu zaś funkcję kierownika piastował prof. Ludwik Wertenstein. Odtąd jej działania były skierowane w tym kierunku. Z właściwym sobie uporem i odwagą poruszyła niebo i ziemię, trafiła do ludzi, którzy cenili jej dokonania i zaangażowanie, napisała mnóstwo listów i odbyła mnóstwo rozmów.





Maria Skłodowska-Curie swoje marzenie wypowiedziała podczas uroczystości 25 rocznicy odkrycia radu, która odbyła się w Paryżu: „*Mojem najgorętszym życzeniem jest powstanie Instytutu Radowego w Warszawie*”

Maria Skłodowska-Curie wiedziała, że tylko kompleksowe potraktowanie problemu, przy opartym na trwałych podstawach naukowych wykorzystaniu wpływu promieniowania na chore tkanki umożliwi osiągnięcie sukcesu. Do tego potrzebna była jednak nowoczesna placówka naukowa i lecznicza. W marcu 1924 r. powołano Komitet Polskiego Daru Radowego dla Marii Skłodowskiej-Curie. Na jego czele stanął honorowo prezydent Rzeczypospolitej Stanisław Wojciechowski, prezesem Komitetu został marszałek Senatu, Wojciech Trąmpczyński. W skład Komitetu weszli czołowi przedstawiciele świata polityki, kultury i nauki. Od tej chwili nastąpiło „pospolite ruszenie” - napływały pieniądze od osób prywatnych i instytucji, zarówno duże sumy, jak i drobne, z trudem uciulane oszczędności. Społeczeństwo - tak dumne ze swej rodaczki, która nie tylko odniosła ogromny sukces za granicą, lecz także cały czas, nieustannie podkreślała związki z Polską, reprezentowała swą ojczyznę w instytucjach międzynarodowych, wspierała polską naukę i była przykładem dla setek młodych kobiet pragnących odważnie realizować swoje marzenia - nie pozostało obojętne. Na konto Komitetu, na ręce zaangażowanej w sprawę całym sercem dr Bronisławy Dłuskiej, skarbniczki Komitetu, wpływały fundusze ze szkół, organizacji społecznych, osób prywatnych; wszyscy chcieli ofiarować coś wielkiej Polce. Kupowano „cegiełki”: znaczki i karty pocztowe zasilając kasę budowy Instytutu, przekazywano także materiały budowlane.

Na uroczystość wmurowania kamienia węgielnego i aktu erekcyjnego pod budowę Instytutu Radowego



7 czerwca 1925 r. przyjechała Maria Skłodowska-Curie. Plany budowy warszawskiego Instytutu Radowego uczona opracowywała osobiście, razem z dyrektorem placówki paryskiej Claude'm Regaud. W 1932 r. po raz ostatni przyjechała do Polski - do Warszawy, aby spełnić swoje marzenie - otworzyć Instytut Radowy. Uczona, zgodnie z obowiązującym wówczas zwyczajem, posadziła w ogrodzie Instytutu pamiątkowe drzewka. W uroczystości wzięli także udział Claude Regaud i prof. Marie, dyrektor Instytutu Chemii Fizycznej paryskiego Instytutu Radowego. Przyjechała także ze Stanów Zjednoczonych osoba, bez której uporu i wsparcia nie udałyby się zapewnić zabiegów pozyskania radu w Ameryce, zarówno w roku 1921, jak i 1929 - Maria Meloney. Prezydent Ignacy Mościcki odznaczył ją Krzyżem Zasługi za zorganizowanie subskrypcji na zakup radu.

Losy radu przekazanego przez uczoną dla Warszawy były podobne do losów paryskiego radu. Dyrektor Instytutu, Franciszek Łukaszczyk na własnych plecach, w plecaku wywiózł rad do rodzinnego Poronina, aby nie dostał się w ręce Niemców, przywiózł go potem, aby dalej leczyć chorych. Rad ukrywano w różnych miejscach, mistyfikowano leczenie pacjentów (zabiegi odbywały się nocami, aby nie zauważono faktu używania radu). Maria Skłodowska-Curie w roku 1914 osobiście odwiozła rad do Bordeaux i złożyła go na czas wojny w Banku Francji. Po zakończeniu działań wojennych przywiozła go (tak jak Łukaszczyk) z powrotem do instytutu. Rok 1944 to dla instytutu i jego pacjentów czas prawdziwej gehenny, pacyfikacja instytutu, rozstrzeliwanie i dobijanie chorych pacjentów, wreszcie jego podpalenie. Wtedy uległy zniszczeniu liczne pamiątki po uczonej gromadzone przy ul. Wawelskiej z myślą o otwarciu tam muzeum uczonej.

Następnego dnia uczestnicy Festiwalu wysłuchali wykładu dr Stanisława Latka pt. „Energetyka jądrowa

po Fukushima". Prowadzący zaprezentował powody i przebieg awarii w elektrowni jądrowej w Fukushima, a także przedstawił jej konsekwencje dla środowiska naturalnego i mieszkańców okolicy elektrowni. Przedstawił także, jak zmieniało się społeczne nastawienie do budowy kolejnych elektrowni jądrowych na świecie, po wspomnianej katastrofie.

W ciągu tygodnia atrakcje Festiwalu adresowane były do uczniów szkół podstawowych, gimnazjalnych i licealnych. Odbływały się pokazy, warsztaty, gry i zabawy przybliżające zagadnienia związane z promieniotwórczością sztuczną i naturalną, prezentowano sprzęt służący do pomiaru natężenia promieniowania, przeprowadzano ciekawe doświadczenia fizyczne i chemiczne, licealiści wysłuchali wykładu na temat „Energetyka jądrowa w Polsce – przeszłość, teraźniejszość, przyszłość”. Wykładowca, dr T. Smoliński z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej podjął się próby omówienia stanu rozwoju energetyki jądrowej w Polsce, w obliczu akcji informacyjnej „Poznaj Atom”, a także zrysowania, przyszłości w tej dziedzinie w naszym kraju.

Festiwal Nauki w Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie Polskiego Towarzystwa Chemicznego zorganizowano we współpracy z Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej, Wydziałem Chemii UW oraz Towarzystwem Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie. Bardzo dziękujemy za tę wieloletnią współpracę. ■

*Małgorzata Sobieszczak-Marciniak,
dyrektor Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie,
Warszawa*



INFORMACJA O WARSZTATACH BEPU ZORGANIZOWANYCH W WARSZAWIE W DNIACH 8-12 PAŹDZIERNIKA 2012

W dniach 8-12 października 2012 odbyły się w Warszawie warsztaty zorganizowane wspólnie przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej i Państwową Agencję Atomistyki pt. „Zaawansowane metody oceny bezpieczeństwa w tym ewaluacja najlepszego szacowania i niepewności (BEPU), kody CFD, kody zintegrowane i sprzężone”.

Warsztaty odbyły się w ramach programu MAEA nr RER/9/126 dotyczącego „Wzmacniania zdolności oceny

bezpieczeństwa, synergii między analizami probabilistycznymi i deterministycznymi” i prowadzone były przez uznanych ekspertów tj. prof. F. D'Aurię z Uniwersytetu w Pizie, F. Pelayo z CSN (hiszpański dozór jądrowy) i T. Bajsa z firmy ENCONET. W spotkaniu uczestniczyli również zaproszeni specjaliści i eksperci z zagranicy oraz zaproszeni specjaliści z Państwowej Agencji Atomistyki, Narodowego Centrum Badań Jądrowych, Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej, Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Śląskiej i Polskiej Grupy Energetycznej. Polskich uczestników było łącznie 27. Współorganizatorem warsztatów po stronie PAA był Ernest Staroń – naczelnik Wydziału Analiz obiektów Jądrowych w Departamencie Bezpieczeństwa Jądrowego PAA.

Warsztaty obejmowały zagadnienia związane z metodologią wykonywania analiz bezpieczeństwa. Tematyka poszczególnych prezentacji z jednej strony nie dotyczyła opisu zjawisk nad którymi trwają prace w instytutach badawczych lub opisu najnowszych narzędzi obliczeniowych, ale z drugiej strony autorzy przedstawili tematy bez których trudno rozpocząć pracę związaną z analizami bezpieczeństwa i wymagała od uczestników dobrej znajomości podstaw energetyki jądrowej. Prezentacje obejmowały następujące tematy: „Źródła niepewności i stosowanie niepewności w podejściu BEPU”, „Podejście BEPU”, „Konserwatywna analiza deterministyczna”, „Narzędzia obliczeniowe dla analizy deterministycznej”, „Szacowanie marginesów bezpieczeństwa”, „Zarządzanie awariami ciężkimi w elektrowniach jądrowych”, „Metoda BEPU a podejście dozoru jądrowego”, „Łączenie kodów 3D kinetyki neutronowej i systemowych ciepłno-przepływowych”, „Weryfikacja i walidacja narzędzi deterministycznej analizy bezpieczeństwa”, „Zastosowanie narzędzi deterministycznej analizy bezpieczeństwa: marginesów bezpieczeństwa, licencjonowania, raportów bezpieczeństwa, modyfikacji i zdarzeń operacyjnych”, „Zastosowanie deterministycznej analizy bezpieczeństwa do tworzenia procedur awaryjnych”, „Rola CFD w procesie projektowania i w zastosowaniach do analiz bezpieczeństwa” oraz „Wnioski z analiz bezpieczeństwa tzw. nowych reaktorów”. ■

*Ernest Staroń,
Państwowa Agencja Atomistyki,
Warszawa*



80 LAT INSTYTUTU RADOWEGO

W piątek 30 listopada na Warszawskim Uniwersytecie Medycznym odbyła się Uroczysta Sesja Naukowa VI Mazowieckich Spotkań Onkologicznych poświęcona jubileuszowi i obecnym osiągnięciom naukowym Centrum Onkologii – Instytutu im. Marii Skłodowskiej-Curie. Patronat nad obchodami objął prezydent RP Bronisław Komorowski.

Sesji towarzyszyła wystawa oraz prezentacja książki „Materiały do historii Instytutu Radowego i Instytutu Onkologii – w 80. rocznicę powstania”. W trakcie uroczystości w pięknej auli Rektoratu Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego przypomniano historię Instytutu Radowego i Centrum Onkologii w Warszawie. Zasłużonym lekarzom i pracownikom Centrum Onkologii wręczono order, medale i nagrody. Wiele mówiono również na temat współczesnych problemów polskiej służby zdrowia. W uroczystościach Sejm RP reprezentowała poseł Małgorzata Kidawa-Błońska. Przybyło również liczne grono naukowców, wśród nich przedstawiciele Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie, którzy od lat współpracują zarówno z Centrum Onkologii jak i Akademią Medyczną w Warszawie. List gratulacyjny odczytał prof. dr hab. Andrzej G. Chmielewski.

Korzystając ze strony internetowej Centrum Onkologii przypominamy historię tej zasłużonej dla naszego kraju instytucji.

Plan stworzenia w Warszawie „Zakładu do badań nad rakiem” powstał w 1912 r. Jego autorem był dr Józef Jaworski, założyciel (w 1906 r.) Komitetu do Badania i Zwal-



Fot. 1. Obchody 80-lecia otwarcia Instytutu Radowego w Warszawie



Fot. 2. Redakcja PTJ na uroczystościach w auli rektoratu Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

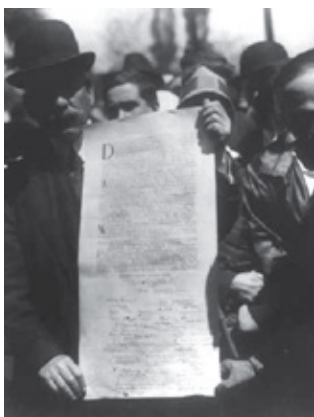
czania Raka. Plany te przekreślił wybuch wojny światowej. Inicjatywa zorganizowania Instytutu Radowego, wzorowanego na paryskim Institut du Radium, została wyrażona przez Marię Skłodowską-Curie podczas jej pierwszego po wojnie pobytu w Warszawie w 1921 roku. Utworzono Towarzystwo Instytutu Radowego pod honorowym patronatem wielkiej uczonej. Jego pierwszym przewodniczącym został prof. Franciszek Czubalski, a członkami: dr Bronisława Dłuska (siostra Marii Skłodowskiej) pełniąca też funkcję skarbnika, dr Józef Skłodowski (brat), prof. Stefan Pieńkowski, prof. Ludwik Paszkiewicz, prof. Kazimierz Białaszewicz, doc. Alicja Dorabalska, prof. Wojciech Świętosławski i doc. Adolf Wojciechowski. Pierwszym celem Towarzystwa było zdobycie placu pod budowę – plac taki udało się uzyskać z terenów przeznaczonych na rozbudowę Uniwersytetu Warszawskiego przy ul. Wawelskiej. W 1923 r. w Paryżu uroczystość obchodzono 25. rocznicę odkrycia radu. Ze składek społeczeństwa francuskiego ufundowano wówczas „Dar Narodowy” dla Marii Skłodowskiej-Curie w postaci nowoczesnego ambulatorium paryskiego Instytutu Radowego, które nazwano imieniem nieżyjącego już wówczas Piotra Curie. Rocznicę tę uczczono również w Polsce. Odbyły się liczne akademie i posiedzenia naukowe z udziałem przedstawicieli świata polityki i nauki. W grudniu 1923 r. Polski Komitet do Zwalczania Raka zwrócił się do społeczeństwa z apelem: W chwili dzisiejszej, gdy... Francja ofiarowuje naszej Rodaczce francuski Dar Narodowy... Polska nie może pozostać obojętną, lecz winna uczcić swą genialną Córkę w sposób godny wielkiego Narodu... Polski Komitet do Zwalczania Raka... zwraca się do całego Społeczeństwa polskiego z wezwaniem ofiar na polski Dar Narodowy... Darem tym winien stać się Instytut Radowy imienia Marii Skłodowskiej-Curie. W marcu 1924 roku powołano Komitet Daru Narodowego, gromadzący wybitne osobistości życia publicznego, naukowego i religijnego. Pierwsze posiedzenie otworzył



Fot. 3. Profesor Kułakowski rozdaje dyskiety z najnowszym filmem o powstaniu Instytutu Onkologii w Warszawie

prezes Polskiego Komitetu do Zwalczania Raka Henryk Barylski, obradom przewodniczył marszałek Senatu Wojciech Trąmpczyński – prezes zarządu, a honorowym prezesem został prezydent Rzeczypospolitej Stanisław Wojciechowski. Uroczystość położenia kamienia węgielnego pod budowę Instytutu odbyła się 7 czerwca 1925 r.

Przybyła na nie z Paryża Maria Skłodowska-Curie, obecny był prezydent RP Stanisław Wojciechowski. Plany Instytutu opracowano przy udziale bliskiego współpracownika Marii Skłodowskiej – prof. Claudiusa Regaud, dyrektora Institut du Radium w Paryżu. Budowa trwała 6 lat. Kierowało nią, wspomniane wcześniej, Towarzystwo Instytutu Radowego, nad którym patronat przyjął także z czasem prezydent RP Ignacy Mościcki. Osobą o nieprzemijających zasługach dla powstania Instytutu, *spiritus movens*, stała się dr Bronisława Dłuska. Niezwykła ofiarność społeczeństwa zaowocowała zebraniem ok. 2 milionów złotych. Żadna inna placówka medyczna w Polsce nie powstała w taki sposób. Instytut mieścił się w czterech pawilonach, jeden z nich (rentgenoterapii) ufundował Narodowy Bank Polski. Dodatkowo zaciągnięto pożyczkę pół miliona złotych na wyposażenie. ■



Fot. 4. Uroczystość położenia kamienia węgielnego



MĄDRALIN 2013

Polskie Towarzystwo Nukleoniczne zaprasza do udziału w trzydniowej konferencji naukowo-technicznej „NAUKA I TECHNIKA WOBEC WYZWANIA BUDOWY ELEKTROWNI JĄDROWEJ”, która odbędzie się w dniach 13-15 lutego 2013 r. w Instytucie Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej.

Celem konferencji jest przedstawienie możliwości udziału polskich ośrodków naukowo-badawczych oraz polskiego przemysłu w budowie i eksploatacji elektrowni jądrowej w Polsce.

Należy dążyć do tego, by zakres prac realizowanych przez przedsiębiorstwa krajowe w programie budowy elektrowni jądrowych był jak najszerszy. W tym celu konieczne jest skorelowanie ich możliwości z potrzebami i wymaganiami, jakie stawia energetyka jądrowa. Należy wspomnieć, że już obecnie niektóre polskie firmy uczestniczą w budowie elektrowni jądrowych za granicą (EJ Olkiluoto w Finlandii).

Drugim, równie ważnym zagadnieniem, jest wykorzystanie możliwości polskiej kadry naukowej w ocenie oferowanych technologii reaktorowych, wspieraniu polskich przedsiębiorstw uczestniczących w budowie obiektów jądrowych za granicą, a także w przygotowaniu kadr do bezpiecznej i efektywnej ekonomicznie eksploatacji elektrowni jądrowych. Działaniem równoległym powinno być angażowanie się w projekty badawcze dotyczące reaktorów IV generacji.

Mamy nadzieję, że niniejsza konferencja ułatwi współpracę między różnymi ośrodkami zainteresowanymi rozwojem bezpiecznej, ekonomicznej i przyjaznej środowisku energetyki jądrowej w naszym kraju.

Zaplanowano 6 sesji merytorycznych o następującej tematyce:

- 1) Szkolenie specjalistów (studia stacjonarne, zaoczne i podyplomowe);
- 2) Realizowane projekty badawcze (aktualny stan prac oraz plany na najbliższą przyszłość);
- 3) Zasoby przedsiębiorstw krajowych oraz ich przygotowania do udziału w programie energetyki jądrowej w Polsce;
- 4) Przedsiębiorstwa realizujące prace przy obiektach jądrowych za granicą;
- 5) Technologie jądrowe (realizacja bieżących projektów);
- 6) Sesja posterowa.

Stałym elementem konferencji są referaty zamawiane. Tym razem proponujemy następujące tematy:

- Stan realizacji programu energetyki jądrowej w Polsce (Min. Gospodarki);
- Rola PAA w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej (PAA);
- Przygotowania PGE do budowy pierwszej EJ w Polsce (PGE EJ);
- Przygotowanie kadr dla energetyki jądrowej: szkolenie, kształcenie i plany (PW);
- Projekty badawcze i programy strategiczne dotyczące EJ zamawiane przez NCBIr;
- Bilans dokonania polskiego przemysłu dla EJ zagranicą (przemysł);
- Naukowe i techniczne organizacje wsparcia (TSO);
- Zarządzanie jakością w zakresie bezpieczeństwa (*total quality management*).

Uczestnicy konferencji mogą również zgłaszać własne komunikaty. O formie prezentacji (ustna/poster) zdecydować komitet naukowy.

PATRONAT nad konferencją objęły: Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Stowarzyszenie Elektryków Polskich oraz Komitet Problemów Energetyki PAN.

W Komitecie Programowym zgodzili się uczestniczyć:

prof. A. G. Chmielewski (IChTJ),
 prof. S. Chwaszczewski (NCBJ),
 prof. J. Lewandowski (PW),
 prof. E. Macha (P. Opolska),
 prof. J. Niewodniczański (AGH),
 mgr inż. A. Patrycy (Energoprojekt),
 prof. A. Reński (PG),
 mgr inż. R. Ruszczyński (PGE EJ),
 prof. J. Składzień (PŚ),
 prof. G. Wrochna (NCBJ),
 dr inż. Z. Zimek (PTN)

Komitet Organizacyjny konferencji tworzą:

dr inż. Andrzej Mikulski (PTN/PAA),
 dr inż. Wojciech Głuszewski (PTN/IChTJ),
 dr inż. Bożena Sartowska (PTN/IChTJ),
 dr inż. Nikola Uzunow (PTN/PW)
 mgr inż. Kajetan Różycki (NCBJ).

Wzorem lat ubiegłych konferencja może liczyć na wsparcie takich firm jak: PGE, AREVA, EDF, GE Hitachi, Westinghouse.

Koszt udziału w konferencji: 400,00 PLN. Organizatorzy zapewniają: materiały konferencyjne, kawę/herbatę w czasie przerw w obradach, posiłek południowy.

Nie zapewniamy zakwaterowania, natomiast proponujemy pomoc w rezerwacji miejsca w Hotelu MDM w centrum Warszawy.

Dokładnych informacji na temat konferencji można uzyskać pod adresem: Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa, tel.: 22 5041384, fax.: 22 041313, e-mail: ptn@ichtj.waw.pl

Spotkanie pod nazwą „Mądralin 2013” symbolicznie nawiązuje do dwóch poprzednich konferencji, które odbyły się w Domu Pracy Twórczej PAN w Mądralinie pod Warszawą.

Wychodząc naprzeciw dużemu zainteresowaniu, z którym spotkała się konferencja w 2011 r., postanowiliśmy przenieść obecną edycję do Warszawy, co umożliwi uczestnictwo większej liczbie osób. ■

*Wojciech Głuszewski,
 Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
 Warszawa*



ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE

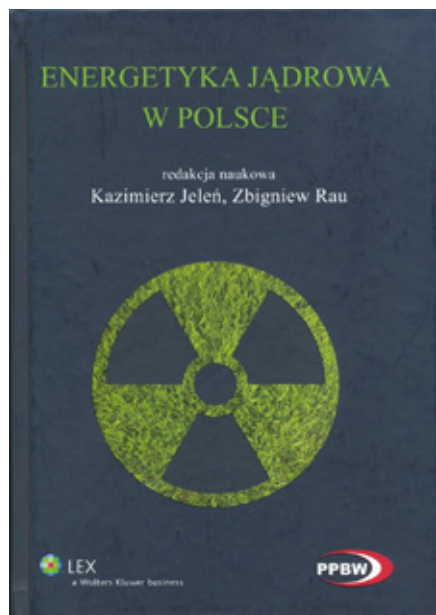
Taki tytuł nosi niedawno wydana książka pod redakcją naukową Kazimierza Jelenia i Zbigniewa Rau. Dzieło jest wręcz imponujące - liczy aż 1158 stron tekstu plus 52 strony kolorowych ilustracji.

Recenzent książki, dr Emil Bros tak charakteryzuje to opracowanie.

„Energetyka jądrowa w Polsce” jest opracowaniem niemal monumentalnym, liczącym 54 artykuły. Praca ta powinna się znaleźć, czy to w formie elektronicznej, czy książkowej w bibliotece każdego, kogo interesuje ta problematyka, bez względu na poziom zaangażowania zawodowego i wiedzy. Dotyczy to również osób, które tak jak ja spędziły wiele lat w przemyśle jądrowym poza granicami kraju i chcą zapoznać się ze stanem wiedzy oraz możliwościami technicznymi ośrodków badawczych i firm w Polsce. Publikacja przedstawia argumenty za i przeciw rozwijaniu energetyki jądrowej w Polsce i na świecie.

Ogromną zaletą publikacji jest jej szeroka tematyka - ważny jest też zespół autorów: od uznanych autorytetów, do ludzi, którzy ukończyli studia stosunkowo niedawno.

Konkludując, prezentowana monografia jest bardzo cennym i obszernym źródłem wiedzy o stanie i przyszłości energetyki jądrowej w Polsce”.



Publikacja powstała z inicjatywy Pomorskiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej wspólnie z Gdańskim Parkiem Naukowo-Technologicznym.

Redaktorzy książki piszą we wstępie, że nie ingerowali w treść artykułów; są zamieszczone w wersji autorskiej i na odpowiedzialność autorów. Zastrzegają się, że konsekwencją przyjętego sposobu zbierania materiałów (zaproszenia do nadsyłania materiałów skierowano do 250 ośrodków i specjalistów) może być nierównomierne ukazanie wszystkich zagadnień, jak również powtórzenia niektórych kwestii w różnych artykułach. Mimo to, zdaniem redaktorów w publikacji znajdują się informacje i odpowiedzi na wszystkie ważniejsze pytania związane z energetyką jądrową i jej wdrażaniem w Polsce.

Artykuły pogrupowano w pięciu częściach:

- Podstawy energetyki jądrowej;
- Technologie energetyki jądrowej;
- Bezpieczeństwo energetyki jądrowej;
- Energetyka jądrowa w Polsce;
- Społeczne i środowiskowe aspekty energetyki jądrowej.

Szczegółowa analiza zawartości poszczególnych części publikacji wzbudza czasem wątpliwości, czy dany artykuł został prawidłowo zakwalifikowany do danej części książki. Zdaniem niżej podpisanego na przykład artykuł

Wojciecha Walczaka "Fukushima. Analiza dyskursu medialnego w pierwszych dniach po katastrofie" bardziej pasuje tematycznie do rozdziału V niż do rozdziału III, traktującego o bezpieczeństwie. Nawiasem mówiąc dziwi fakt, że w tym rozdziale nie ma tekstu autorstwa szefów PAA poświęconego roli dozoru jądrowego w Polsce.

Dla autora niniejszych uwag chyba najciekawsze są teksty zamieszczone w rozdziale poświęconym społecznym i środowiskowym aspektom energetyki jądrowej. W pełni podzielam opinię jednego z autorów (Zbigniewa Zimka), który napisał, że działania podejmowane w obszarze dialogu społecznego powinny być prowadzone równolegle wraz z innymi określonymi przez mapę drogową wdrażania energetyki jądrowej w Polsce. Jakoś niewiele słychać o tych działaniach.

Bardzo serdecznie zachęcam naszych Czytelników do lektury książki „Energetyka jądrowa w Polsce”. I oby tytuł tej publikacji odpowiadał kiedyś rzeczywistości, bo obecnie nie ma jeszcze w Polsce energetyki jądrowej. ■

*Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



CEZAMAT

Warszawie powstanie Centralne Laboratorium CEZAMAT. W nowoczesnej placówce prowadzone będą specjalistyczne badania nad nowoczesnymi technologiami. Zakończenie budowy planowane jest na rok 2015.

Centrum Zaawansowanych Materiałów i Technologii CEZAMAT to największa w Polsce inwestycja w obszarze wysokich technologii. Finansowany ze środków unijnych projekt obejmuje budowę kompleksu laboratoriów wyposażonych w unikatowy w skali światowej sprzęt badawczy. Oprócz budowy laboratorium, powstaną jeszcze cztery dodatkowe laboratoria przy Instytucie Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego, Instytucie Technologii Materiałów Elektronicznych, Instytucie Wysokich Ciśnień PAN oraz w Wojskowej Akademii Technicznej.

Wszystkie laboratoria będą dostępne dla pracowników naukowych, doktorantów, studentów i pracowników przedsiębiorstw zainteresowanych współpracą badawczą i rozwojową.

W CEZAMACIE planowany jest rozwój takich dziedzin jak: mikro- i nano- elektronika, biotechnologia, fotonika, czy inżynieria materiałowa. ■



POPULARYZATORZY NAUKI 2012

W siedzibie Polskiej Agencji Prasowej w Warszawie odbyła się uroczystość w trakcie, której ogłoszono wyniki konkursu „Popularyzator Nauki”, organizowanego przez serwis internetowy Nauka w Polsce PAP i Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

W gronie nagrodzonych w kategorii „Naukowiec/Instytucja naukowa” znalazły się: Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie, prof. Ewa Kulczykowska z Instytutu Oceanologii PAN w Sopocie, dr hab. inż. Marek Kulczykowski z Instytutu Budownictwa Wodnego PAN w Gdańsku oraz dyrektor Centrum Fizyki Teoretycznej PAN w Warszawie dr hab. Lech Mankiewicz. W kategorii „Dziennikarz/Redakcja/Instytucja nienaukowa” nagrodę przyznano: red. Krzysztofowi Michalskiemu z Programu Pierwszego Polskiego Radia oraz redakcji tygodnika „Polityka”. Wyróżnienia w kategorii „Prezentacja popularnonaukowa” otrzymali: dr Tomasz Pluciński z Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego, dr Katarzyna Górak-Sosnowska z Wydziału Orientalistycznego Uniwersytetu Warszawskiego i Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie oraz dr Barbara Łydzba-Kopczyńska z Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego. Nagrodę specjalną za całokształt działalności popularyzatorskiej odebrał prof. Jerzy Vetulani z Instytutu Farmakologii Polskiej Akademii Nauk w Krakowie.

Celem konkursu „Popularyzator Nauki”, który po raz pierwszy odbył się w 2005 roku, jest promowanie ludzi nauki, zespołów naukowych, dziennikarzy i redakcji, wyróżniających się w popularyzacji nauki wśród młodzieży i dorosłych. Do tegorocznej edycji zgłoszono prawie siedemdziesiąt kandydatur z całej Polski. Oceniło je jury pod przewodnictwem prezesa Polskiej Akademii Nauk prof. Michała Kleibera. W uroczystości udział wzięła minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego profesor Barbara Kudrycka, która podsumowując kon-

kurs powiedziała „Staramy się doprowadzić do tego, by rzetelnie prowadzone badania były popularyzowane tak szeroko, jak to możliwe”. Mówiła także o potrzebie „wprowadzania popularyzacji nauki do szkół, uczelni i codziennego życia publicznego”.

Poniżej przedstawiamy niektórych laureatów konkursu:



Fot. 1. Laureaci konkursu „Popularyzator Nauki 2012”. Fot. W. Gluszewski

- Instytut Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie działalność popularyzatorską prowadzi od lat. Współfinansuje m.in. ogólnopolski konkurs „Science on Stage”, współorganizuje krakowskie i małopolskie konkursy fizyczne. Realizował też własne niekonwencjonalne pomysły, np. filmy animowane, sztuki teatralne i talk-show.
- Dr. hab. Lecha Mankiewicza fascynują m.in. możliwości, jakie przed popularyzacją nauki przedmiotów ścisłych otwiera Internet. Popularyzacja jego polega na tworzeniu środowiska, w którym uczestnicy aktywnie biorą udział we wspólnych działaniach” - podkreślili naukowcy z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN, którzy zgłosili Lecha Mankiewicza do konkursu.
- Prof. Ewa Kulczykowska i dr hab. inż. Marek Kulczykowski są pomysłodawcami i gospodarzami „Letnich Spotkań z Nauką”.
- Dzięki programowi pomocy wybitnie zdolnym uczniom, prowadzonemu przez Krajowy Fundusz na rzecz Dzieci, „młodzi naukowcy” mogą uczestniczyć w specjalistycznych warsztatach badawczych w czołowych polskich ośrodkach akademickich. Red. Krzysztof Michalski popularyzatorem nauki jest od trzydziestu lat. Przygotowywał wiele programów poświęconych nauce, m.in. dla TVP. Obecnie w radiowej Jedynce prowadzi program „Naukowy zawrót głowy”. Sam o sobie powiedział: „Staram się w miarę głęboko

wchodzić w coraz to nowe tematy i spotykać coraz to nowych ludzi. Przypuszczam, że poznałem już kilka tysięcy osób uprawiających naukę. Dziennikarz polityczny nie ma takiej szansy, żeby wciąż odnajdywać w swojej pracy nowe postaci”.

- Tygodnik „Polityka” otrzymała nagrodę za publikowanie artykułów popularnonaukowych, tworzenie kwartalników: Niezbędnik Inteligenta, Pomocniki: Psychologiczny, Historyczny i Medyczny, przyznawanie prestiżowych Nagród Naukowych.

Wyróżnienia w roku 2012 otrzymali:

- Dr inż. Elżbieta Jankowska oraz dr inż. Anna Hajdusiak z Politechniki Wrocławskiej za prezentację „Fizyka w tańcu i ruchu”; *Doskonale prawa fizyki wykorzystują tancerze, a w szczególności baletnice. Zasady fizyczne wykorzystują np. podczas wykonywania piruetów. Dlaczego baletnica musi stanąć wtedy na palcach? Jak wyjaśniała dr Jankowska, chodzi o zmniejszenie siły tarcia. Powstaje ona, gdy ciało styka się z podłożem i jest niezbędna przy chodzeniu. Natomiast by wykonać piruet powinna być jak najmniejsza. Wykonanie piruetu ułatwia też odpowiednie ułożenie rąk. Szczególnie dobrze widoczne jest to podczas zawodów łyżwiarzy figurowych. Najpierw zawodnik nadaje sobie prędkość obrotową odpychając się od podłoża (w tym przypadku od lodu). Obrót zaczyna z rozłożonymi rękami, a potem przyciąga je do ciała. Zmienia wtedy moment bezwładności ciała - masa znajduje się blisko osi obrotu - a zawodnik obraca się szybciej. Innym elementem często wykonywanym przez tancerzy są skoki. Gdy skaczą, ich środek ciężkości przesuwają się po paraboli, dlatego linia skoku zawsze ma właśnie taki kształt. Tancerz, gdy znajduje się na szczycie tej linii, schyla głowę, a my widzowie - mamy wrażenie, że dłużej unosi się w powietrzu.*
- dr Tomasz Pluciński z Wydziału Chemii Uniwersytetu Gdańskiego - za pokazy doświadczeń chemicznych;
- dr Barbara Łydzba-Kopczyńska z Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego - za prezentację „Czy możliwe jest doskonałe fałszerstwo dzieła sztuki? „Chemiczek wykryje każde fałszerstwo obrazu. Skład farb może świadczyć o wieku malowidła, podobnie jak struktura pęknięć na powierzchni płótna. Fałszerze jednak również mogą być utalentowanymi chemikami i najczęściej sami są artystami. Talent malarski, dobra znajomość stylu i warsztatu pracy oryginalnego artysty często pozwalała prezentować podróbki jako autentyki, które przez całe lata nie budziły wątpliwości historyków sztuki. Jeden z najsłynniejszych fałszerzy spędził sześć lat przygotowując dzieło skutecznie imitujące styl Johana Vermeera. Zarobił na nim i na innych imitacjach fortunę, a wszystko wyszło na jaw tylko

dlatego, że sam przed sądem udowodnił, że przez lata malował fałszyfikaty. Fałszerzem tym był Han van Meegeren, dwudziestowieczny malarz, który wyspecjalizował się w podrabianiu siedemnastowiecznych obrazów holenderskich mistrzów. W analizie dzieła sztuki coraz częściej wykorzystywane są więc różne rodzaje naświetlania i prześwietlania. Np. dzięki światłu ultrafioletowemu można lepiej ocenić wiek werniksu - warstwy żywicznego lakieru, którym pokrywano gotowe obrazy dla połysku i ochrony. „Świeży werniks świeci w świetle ultrafioletowym podobnie jak pieczętki odbijane na skórze gości w klubach” - powiedziała chemiczka. Z kolei promieniowanie rentgenowskie prześwietla obraz, podobnie jak ciało człowieka i pozwala zauważyć np. czy na płótnie nie namalowano wcześniej innego dzieła. Han van Meegeren, tworząc swoje imitacje, malował na oryginalnych XVII-wiecznych obrazach. Tylko w ten sposób mógł znaleźć odpowiednio stare płótno. Jedną z nowszych i bardziej cenionych przez badaczy metod analizy obrazów jest spektroskopia ramanowska. Polega ona na oświetlaniu powierzchni obrazu wiązką lasera i obserwowaniu odbitego promieniowania. Światło odbija się w różny sposób w zależności od tego, z jaką substancją chemiczną się zetknęło. Ta precyzyjna metoda pozwala nawet odróżnić skład poszczególnych warstw farby, podkładu i werniksu. Wszystkie te metody wrocławscy naukowcy zastosowali do zbadania autentyczności obrazu, znalezione w 2010 r. w kościele św. Antoniego we Wrocławiu. Historycy sztuki podejrzewali, że płótno odkryte w czasie remontu to „Św. Jan Kapistran”, autorstwa Michaela Willmana, nazywanego Śląskim Rembrandtem. Zwrócili się do chemików z prośbą o weryfikację autentyczności dzieła.

Wyróżnienia serwisu Nauka w Polsce PAP przyznano za politykę informacyjną: Jackowi Szymik-Kozaczko z Uniwersytetu Śląskiego i Instytut Chemii Fizycznej PAN w Warszawie.

Elżbieta Zalewska,
Warszawa
Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Maria Skłodowska-Curie - postać ważna dla Prezydenta Francji

W dniu 16.11.2012 roku Prezydent Francji François Hollande złożył wizytę w Centrum Nauki Kopernik. Gościowi towarzyszyli Prezydent RP Bronisław Komorowski, Prezydent Warszawy, Hanna Gronkiewicz-Waltz oraz inni członkowie delegacji. Podczas wizyty zaprezentowano eksponaty Centrum Nauki Kopernik, a także oryginalne przedmioty należące do Marii Skłodowskiej-Curie. Ekspozycja dotycząca uczzonej pochodziła i była zorganizowana przez Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie Polskiego Towarzystwa Chemicznego. Po tej części ekspozycji gości oprowadzała Małgorzata Sobieszczak-Marciniak, dyrektor Muzeum. Maria Skłodowska-Curie jest dla Prezydenta Francji ważną postacią, przykładem osoby, która osiągnęła sukces pomimo trudnych warunków, dzięki ogromnej pracy i siły charakteru. Krypta Marii i Piotra Curie w paryskim Panteonie była jednym z pierwszych miejsc, do którego udał się Prezydent po zaprzysiężeniu.



Gość uczestniczył także w zajęciach laboratoryjnych opartych na sławnych już lekcjach Marii Skłodowskiej-Curie. Uczona zorganizowała w Sceaux szkołę dla dzieci przyjaciół i własnych, w której lekcje prowadzili wykładowcy Sorbony. Ona sama prowadziła zajęcia z fizyki. Kilka lat temu odnaleziono oryginalne notatki jednej z uczennic. Stały się one podstawą do wydania książki pt. "Lekcje Marii Curie", która z powodzeniem służyć może jako pomoc dydaktyczna w nauczaniu fizyki ponieważ zawiera dokładne opisy prostych doświadczeń fizycznych możliwych do wykonania bez specjalnych przyrządów i laboratoriów.

