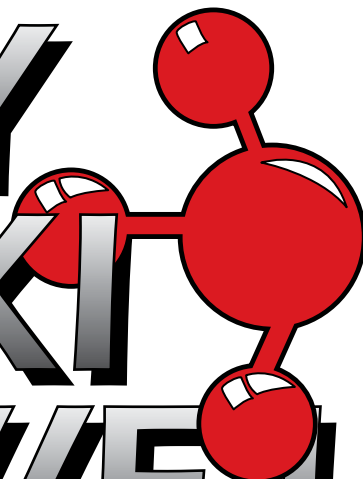


POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ



VOL. 55 Z.1 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2012



1-2012

INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

OD REDAKCJI 1
STANISŁAW LATEK

**ROLA ICHTJ W ROZWOJU POLSKIEJ
ENERGETYKI JĄDROWEJ** 2
ANDRZEJ CHMIELEWSKI,
STANISŁAW LATEK

**HORMEZA POPROMIENNA:
AUTOFAGIA I INNE MECHANIZMY
KOMÓRKOWE** 7
IRENA SZUMIEL

**REAKTOROWA INSTALACJA
NEUTRONOWEGO DOMIESZKOWANIA
MONOKRYSTAŁÓW KRZEMU** 16
JANUSZ JAROSZEWICZ

**RAPORT Z EKSPLOATACJI
REAKTORA BADAWCZEGO
MARIA W 2011 ROKU** 26
ANDRZEJ GOŁĄB

**WIELKA CHEMIA ZASILANA
ENERGIĄ JĄDROWĄ?** 31
ZBIGNIEW P. ZAGÓRSKI

**SZKOLENIE PIERWSZEJ GRUPY
EDUKATORÓW ENERGETYKI** 34
WIESŁAW GORĄCZKO

DONIESIENIA Z KRAJU 41

IN MEMORIAM 57



Kwartalnik naukowo-informacyjny

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

Kontakt Telefoniczny

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,

Jak już wielokrotnie informowaliśmy – ostatnio między innymi w Informatorze PAA http://www.paa.gov.pl/informator/index.php?option=com_content&view=article&id=148:zmiana-wydawcy-kwartalnika-qpostpy-techniki-jadrowej&catid=72:wydarzenia&Itemid=90 oraz na stronie internetowej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej <http://www.ichtj.waw.pl/drupal/?q=node/522> – nastąpiła zmiana wydawcy naszego kwartalnika. Umowa podpisana pomiędzy PAA i ICHTJ zawiera m.in. następujący zapis:

“Państwowa Agencja Atomistyki przekazuje nieodpłatnie, a ICHTJ przejmuje prawa i obowiązki wydawcy kwartalnika PTJ oraz prawa do tytułu tego kwartalnika, z dniem 1 lutego 2012 r”. Na wniosek ICHTJ dokonane zostały odpowiednie zmiany w rejestrze sądowym dzienników i czasopism. Warto zauważyć, że z powodu zmiany wydawcy, którego siedziba znajduje się na Pradze, zmienił się sąd rejestrujący czasopismo. Jest nim obecnie Sąd Okręgowy Warszawa-Praga. Czasopismo PTJ jest obecnie zarejestrowane pod pozycją Pr 14078.

W imieniu Czytelników i Redakcji chciałbym podziękować kierownictwu Państwowej Agencji Atomistyki za pełnienie funkcji wydawcy naszego kwartalnika w latach 2007-2011. Szczególne słowa wdzięczności należą się jednak władzom ICHTJ; to ten instytut był wydawcą PTJ od roku 1993, aż do przejęcia czasopisma przez PAA i ponownie teraz staje się jego wydawcą. Wyrażam nadzieję, że ta decyzja okaże się sukcesem zarówno dla Instytutu, jak i “Postępów”.

Redaktorem naczelnym PTJ pozostaje nadal Stanisław Latek, ale – w odróżnieniu od sytuacji w latach ubiegłych – nie jest już pracownikiem PAA.

Zachęcam naszych wiernych Czytelników do stałego kontaktu z redakcją – zwłaszcza w początkowym okresie zakorzeniania się pisma w żerańskim instytucie. Potencjalnych autorów proszę o przysyłanie tekstów pod adres zamieszczony na drugiej stronie okładki. Zwracam uwagę na możliwość prenumeraty czasopisma i bardzo tę formę otrzymywania naszego kwartalnika rekomenduję. PTJ jest obecnie drukowany przez Agencję Reklamową TOP z siedzibą we Wrocławku.

Zachowany zostanie dotychczasowy charakter pisma, w którym Czytelnicy mogą znaleźć artykuły i doniesienia o bardzo zróżnicowanej tematyce z dziedzin atomistyki.

Wiodący tekst przedstawia aspekt/wymiar działalności Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej dość mało znany naszemu “jądrowemu” środowisku. Na podstawie podanych w artykule informacji i przytoczonych faktów w pełni uzasadniona jest teza, że ICHTJ jest ważnym – i niezbędnym – ogniwem w procesie wdrażania Programu Polskiej Energetyki Jądrowej.

Kolejny artykuł dotyczy “czystej” nauki – radiobiologii. Nasza stała autorka, niedawno uhonorowana wysokim odznaczeniem państwowym (gratulacje!) prof. Irena Szumiel przygotowała dla nas niezmiernie ważny tekst na temat hormezy popromiennej: autofagii i innych mechanizmów komórkowych. Samo pojęcie autofagii jest dość skomplikowane, natomiast o hormezy słyszał zapewne każdy z naszych Czytelników. Autorka kończy swój tekst wnioskami: “Postęp w dziedzinie biologii komórkowej, szczególnie zaś odkrycie i scharakteryzowanie autofagii jako procesu związanego z adaptacją do warunków środowiskowych, starzeniem komórkowym, przedłużeniem życia i zapadalnością na choroby nowotworowe pozwala zrozumieć niektóre mechanizmy komórkowe hormezy radiacyjnej obserwowanej w układach doświadczalnych. Nie oznacza to jeszcze możliwości przełożenia tej wiedzy na działania praktyczne(...) Na obecnym etapie badań nieuzasad-

nione byłoby przenoszenie wniosków z badań modelowych na przepisy w ochronie radiologicznej”. Zachęcam do uważnego przeczytania całego artykułu.

Dyrekcja ICHTJ uważa, że prof. Irena Szumiel poruszając ważne zagadnienie hormezy radiacyjnej i odpowiedzi organizmu na małe dawki promieniowania dobrze wpisują się w prace prowadzone obecnie w Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej i działania ICHTJ zmierzające do stworzenia w ramach instytutu Organizacji Wsparcia Naukowego i Technicznego (Technical and Scientific Support Organization) dla potrzeb rozwijającej się energetyki jądrowej.

Kolejnym zamieszczonym tekstem jest artykuł Janusza Jaroszewicza z Narodowego Centrum Badań Jądrowych dotyczący reaktorowej instalacji neutronowego domieszkowania monokryształów krzemu. Poddany neutronowej transmutacji krzem wykorzystywany jest w mikroelektronice – dziedzinie, która stawia wyjątkowo rygorystyczne wymagania jakościowe. Dynamicznie rozwijają się nowe zastosowania półprzewodników z domieszkowanego neutronowo krzemu zwłaszcza w przemyśle motoryzacyjnym, kolejnictwie i systemach dystrybucji energii elektrycznej. Zainteresowanie współpracą czołowych producentów materiałów półprzewodnikowych z ośrodkami reaktorowymi, których naukowcy opanowali technologie neutronowego domieszkowania wynika nie tylko z istotnego wzrostu zapotrzebowania na materiały półprzewodnikowe, ale z faktu zdecydowanie lepszej jakości neutronowego domieszkowania w porównaniu z metodami klasycznymi.

Jak co roku w pierwszym numerze PTJ zamieszczamy skrócony raport z eksploatacji reaktora MARIA w roku 2011, autorstwa Andrzeja Gołąba.

W tegorocznym numerze publikujemy także uzupełnienie artykułu prof. Zbigniewa P. Zagórskiego z 2010 r. Profesor dowodzi, że brak jest obecnie realnych propozycji dla chemicznego wykorzystania ciepła wytwarzanego w reaktorach wysokotemperaturowych. Zachęcamy do przeczytania artykułu dr. Wiesława Gorączko o kształceniu polskich edukatorów dla energetyki jądrowej.

W dalszej części numeru zawierającej krótsze formy (doniesienia) warto zwrócić uwagę na informację, o zbliżającym się jubileuszu 80-lecia Instytutu Radowego, o wielkiej kampanii edukacyjnej Ministerstwa Gospodarki pod nazwą “Poznaj atom. Porozmawiajmy o Polsce z energią”, a także zapoznać się z licznymi informacjami o ciekawych wydarzeniach w sferze atomistyki i energetyki jądrowej, jakie miały miejsce w Polsce i nie tylko. Szczególnie polecam relacje z konferencji PIME (Public Information Material Exchange) oraz z otwarcia nowego muzeum lamp rentgenowskich w Opolu.

W tym roku na łamach PTJ znajdą Państwo również relacje z wydarzeń kończących obchody Roku Chemii i Roku Marii Skłodowskiej-Curie.

W niniejszym zeszycie można także przeczytać list naszego Czytelnika recenzujący wypowiedzi publiczne i wydarzenia dotyczące Programu Polskiej Energetyki Jądrowej oraz wspomnienie o zmarłej pracowniczce ICHTJ, cenionym naukowcu z zakresu radiobiologii, dr Elżbiecie Boużyk.

Wszystkim naszym Czytelnikom i Przyjaciółom życzę słodkiej wiosny i ciekawych rozmów na temat Polski z energią. Oby to była energia jądrowa – energia rzeczywiście przyjazna dla Polaków.

Redaktor Naczelny
Stanisław Latek

ROLA ICHTJ W ROZWOJU POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ

Uchwała Rady Ministrów z dnia 13 stycznia 2009 r. zainicjowała szereg prac dotyczących Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ). Program PPEJ określa szczegółowy zakres oraz terminy realizacji działań mających na celu uruchomienie w Polsce pierwszej elektrowni jądrowej w 2020 r. i budowę kolejnych bloków w następnych latach. Koordynatorem prac nad programem jest pełnomocnik rządu ds. polskiej energetyki jądrowej w randze podsekretarza stanu w Ministerstwie Gospodarki. Pomyślnie wdrożenie tak bardzo złożonego programu, jakim jest PPEJ, wymaga już obecnie i będzie wymagać w przyszłości bardzo intensywnego zaangażowania wszystkich stakeholderes (interesariuszy) włączonych w jakikolwiek sposób w jego realizację. Dotyczy to zarówno inwestora, dozoru jądrowego, jak i wielu innych, różnych instytucji, a także instytutów naukowych.

Może się wydawać – biorąc pod uwagę jedynie nazwę placówki – że Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) nie ma bezpośrednich związków z energetyką jądrową. Trudno się więc dziwić dziennikarzowi, który zadał dyrektorowi ICHTJ następujące pytanie: czy w ICHTJ prowadzone są prace i badania związane z energetyką jądrową? W odpowiedzi usłyszał, że instytut (istniejący od roku 1983), a wcześniej oddział Instytutu Badań Jądrowych, był w latach przygotowań i budowy EJ w Żarnowcu, jedną z ważniejszych jednostek wspomagających tamte działania. Powstały tu technologie pełnego cyklu paliwowego, przygotowano techniki analityczne dla laboratoriów EJ i działów odpowiedzialnych za chemię wody obiegowej oraz zagospodarowanie odpadów. Opracowane wtedy przez działający w instytucie Zakład Aparatury Jądrowej (ZdAJ), układy sterowania CAMAC, do dziś pracują w reaktorze badawczym w Rež w Czechach. Dlatego też, gdy Unia Europejska rozpoczęła wspieranie energetyki o niskiej emisji dwutlenku węgla, w wyniku oceny trendów rozwoju energetyki, w instytucie przystąpio-

no do działania w zakresie tworzenia nowych programów i zespołów wręcz z wyprzedzeniem w stosunku do decyzji dotyczących wdrażania EJ. Jeszcze zanim rząd podjął decyzję o budowie elektrowni jądrowej, już w 2008 r. została przeprowadzona restrukturyzacja instytutu.

Utworzono m. in.:

Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej,
Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej,
Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych,



Fot. 1. Nowy budynek Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej

Laboratorium Technik Jądrowych,
Laboratorium Technik Ochrony Środowiska,
Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych.

Instytut od 1995 r. prowadzi jedyne w Polsce, studia doktoranckie w dziedzinie radiochemii i chemii radiacyjnej, na których studiuje obecnie 27 studentów, a studia już ukończyło ok. 20 absolwentów, Polaków i obcokrajowców.

Rozpoczęto realizację nowych projektów badawczych. Warto przyjrzeć się tym projektom nieco dokładniej.

Projekty finansowane w ramach Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka (POIG)

Z funduszy unijnych finansowany jest projekt inwestycyjny pod nazwą „Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej na potrzeby energetyki jądrowej i medycyny nuklearnej”. Unowocześnione Centrum wyposażone w aparaturę specjalistyczną stanowić będzie zaplecze badawczo-techniczne rozwoju technologii właśnie dla energetyki jądrowej. Prowadzone w nim badania z dziedziny radiochemii i jądrowej inżynierii chemicznej dotyczą uzyskiwania surowców rozszczepialnych, takich jak uran i tor, wytwarzania prekursorów paliw jądrowych dla reaktorów III i IV generacji oraz przerobu odpadów promieniotwórczych. W tym temacie ICHTJ jest pionierem w rozwoju metod membranowych dla zatężania nisko- i średnioaktywnych ścieków promieniotwórczych. Zbudowana przed wielu laty instalacja RO/UF jest eksploatowana w ZUOP od wielu lat. Razem z tą jednostką, dla której ICHTJ jest partnerem strategicznym, opracowano technologie zastosowane przy dekontaminacji likwidowanego reaktora Ewa. Osiągnięcia radiochemików Instytutu spowodowały, że jest on partnerem dla wielu naukowych i przemysłowych jednostek europejskich w programach nad rozwojem technik separacji plutonu i aktynowców mniejszościowych w procesie przerobu paliwa wypalonego, co jest kluczowe dla zmniejszenia radiotoksyczności powstających w tym procesie odpadów. Hitem może się okazać opracowana w instytucie i zgłoszona do opatentowania w Rosji, na Ukrainie i w Unii Europejskiej technologia zeszkliwiania odpadów promieniotwórczych z wykorzystaniem procesu zol-żel.

Innym projektem realizowanym w partnerstwie krajowym razem z Państwowym Instytutem Geologicznym (PIB) jest wstępne rozpoznanie zasobów uranu w Polsce poświęcone „Analizie możliwości pozyskiwania uranu dla energetyki jądrowej z zasobów krajowych”. Pracownicy Instytutu prowadzą prace nad rozwojem technologii uzyskiwania uranu z różnych rud i odpadów.

W Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej tworzone są podstawy ochrony radiologicznej w energetyce jądrowej, medycynie nuklearnej, przemysłowych technikach jądrowych i radioterapii. Sprawa dotyczy oceny narażenia ludności i środowiska w bezpośrednim sąsiedztwie obiektów jądrowych, zmniejszenie dawek dla personelu i ogółu społeczności, metody pomiaru rzeczywistej dawki pochłoniętej, określenie wpływu efektów promieniowania na organizmy żywe. Nad wdrożeniem projektu „Opracowanie wieloparametrowego testu „triage” do oceny narażenia ludności na promieniowanie jonizujące” pracuje największy w Polsce zespół skupiający ponad 20 wysokiej klasy radiobiologów.

Kolejne Centrum Chemii i Technologii Radiacyjnych – posiadające 7 akceleratorów elektronów dysponuje kadrą i sprzętem do badania radiacyjnej odporności materiałów dla potrzeb energetyki jądrowej, obronności i medycyny. Szeroki program prac dotyczy syntezy nowych materiałów, w tym nanomateriałów. Nowe technologie produkcji izolacji kabli odpornych na wysokie temperatury i agresywne środowisko, powstają w projekcie „Przewody elektryczne nowej generacji sieciowane radiacyjnie”.

Laboratorium Technik Jądrowych, wykorzystuje techniki izotopowe w gospodarce i ochronie środowiska ma warunki po temu, by stanowić trzon struktury nadzorującej rozwój elektroniki radiometrycznej dla potrzeb energetyki jądrowej, opracowując nowe rozwiązania. Realizowany jest projekt „Nowa generacja inteligentnych urządzeń radiometrycznych z bezprzewodową teletransmisją informacji”. W ramach projektów opracowano m.in. bramki dozymetryczne i inny sprzęt radiometryczny, który będzie produkowany przez Polon – Bydgoszcz w oparciu o zawarte porozumienie.

W instytucie poświęca się, o czym wspomniano wcześniej, szczególną uwagę rozwojowi nowych metod unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych, takim, jak procesy membranowe dla zatężania ciekłych odpadów średnio- i niskoaktywnych, dekontaminacji i utylizacji bloków grafitu ze zdemontowanych reaktorów jądrowych, a zwłaszcza na wydzielaniu (ekstrakcji) i transmutacji długożyciowych aktynowców występujących w odpadach wysokoaktywnych. Ze względu na bezpieczeństwo, konieczność zmniejszenia zagrożenia radiacyjnego przyszłych pokoleń oraz koszty długotrwałego, liczącego tysiące lat przechowywania zestalonych odpadów promieniotwórczych położono nacisk właśnie na wariant transmutacji, tj. przekształcania wydzielonych aktynowców mniejszych w krótkożyciowe lub stabilne produkty rozszczepienia na drodze reakcji jądrowych np. w reaktorach na neu-

tronach prędkich. Dalszy bowiem rozwój energetyki jądrowej uzależniony jest od rozwiązania problemu skutecznego unieszkodliwiania wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych.

7 Program Ramowy w zakresie badań i rozwoju technologicznego (7PR)

Zespół badawczy Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej jako jedyny z Polski uczestniczy w realizacji wspólnego europejskiego projektu badawczego ACSEPT (Actinide reCYcling by SEParation and Transmutation), którego celem jest unieszkodliwianie wysokoaktywnych, najbardziej radiotoksycznych odpadów jądrowych pochodzących z przerobu wypalonego paliwa reaktorów energetycznych. Ważnym zagadnieniem zmierzającym do ograniczenia odpadów jest proces recyklingu paliwa, ma to bowiem potencjalne znaczenie dla zminimalizowania obciążeń na składowiskach promieniotwórczych i wprowadzenia nowych technik dla energetyki jądrowej w dalszej perspektywie.

To właśnie żerański Instytut jest krajowym liderem w projektach Euratomu, uczestniczy w projekcie ACSEPT lecz także, aż w 6. projektach dotyczących radiotoksyczności paliwa wypalonego – także innych tematów badawczych. Niektóre z nich, ewidentnie odnoszą się do energetyki jądrowej.

Project IPPA - *Implementing Public Participation Approaches in Radioactive Waste Disposal*, czyli „Wdrażanie polityki współuczestnictwa społeczeństwa w procesach decyzyjnych związanych ze składowaniem odpadów radioaktywnych” ma na celu ustanowienie areny i zbliżenia wszystkich interesariuszy w celu przedstawienia problemów składowania odpadów radioaktywnych i wymiany poglądów pomiędzy zainteresowanymi stronami. Właśnie problem odpadów jest jednym z ważniejszych zagadnień, którego metody rozwiązania wymagają akceptacji ze strony społeczeństwa. Projekt jest zogniskowany na krajach Europy Centralnej i Wschodniej.

ADVANCE – „*Ageing Diagnostics and Prognostics of low-voltage I&C cables*”, czyli „Diagnozowanie i prognozowanie starzenia się kabli niskiego napięcia” ma na celu przeprowadzenie badań stanu sieci poprzedzających wprowadzenie energetyki jądrowej w Polsce. ICHTJ uczestniczy w projekcie jako jeden z jego 11 partnerów. Wyniki prac będą miały istotne znaczenie dla monitorowania, oceny i kwalifikacji stanu okablowania w otoczeniu instalowanych w przyszłości reaktorów jądrowych.

Diagnostyka przewodów i kabli jest integralną częścią systemu bezpieczeństwa elektrowni jądrowych

zapewniającą ich bezawaryjną eksploatację. Ich wymiana jest trudna i kosztowna, dlatego od wielu lat podejmowane są wysiłki, aby wyjaśnić jakie zjawiska zachodzą podczas starzenia okablowania oraz, aby ocenić ryzyko płynące z nieuniknionych zmian występujących w warunkach wysokiego narażenia na czynniki degradujące. Obecnie zakłada się, że czas eksploatacji elektrowni jądrowych wynosi 60 lat. W czasie tego okresu na przewody i kable może oddziaływać jednocześnie wiele niekorzystnych czynników – promieniowanie jonizujące, wilgoć (szczególnie w reaktorach BWR), podwyższona temperatura, ozon, itp. Dlatego zużycie materiałów polimerowych z których wykonana jest izolacja i osłona będzie postępowało szybciej niż w warunkach, gdzie powyższe zagrożenia nie występują. Spodziewane zmiany mogą być znacznie głębsze w związku z możliwym efektem synergetycznym pomiędzy różnymi czynnikami.

Kolejny projekt to MULTIBIODOSE - *Multi-disciplinary biodosimetric tools to manage high scale radiological casualties* (multidyscyplinarne narzędzie biodozymetryczne do zastosowania w wypadkach masowego narażenia na promieniowanie). Nadrzędnym celem tego projektu jest przystosowanie klasycznych technik dozymetrii biologicznej i wypróbowanie nowych metod do analizy wielu próbek w krótkim czasie, w razie masowego zdarzenia radiacyjnego. Klasyczne metody dozymetrii biologicznej są zbyt pracochłonne i powolne w przypadku zdarzenia radiacyjnego o dużej skali.

Warto jeszcze wspomnieć o dwóch pozostałych projektach z 7. PR, w których uczestniczy ICHTJ: AS-GARD – *Advanced fuels for Generation IV reActors: Reprocessing and Dissolution* oraz RENEb – *Realising the European Network of Biodiversity*. Pierwszy z nich ukierunkowany jest na opracowanie zrównoważonego cyklu paliwowego, który mógłby być zastosowany w reaktorach energetycznych IV generacji. RENEb ma za zadanie stworzenie sieci laboratoriów wyspecjalizowa-



Fot. 2. Stanowisko do ługowania rudy uranowej

nych w dozymetrii biologicznej, które znacząco polepszają możliwości ich reagowania w przypadku wystąpienia zagrożenia radiologicznego na dużą skalę.

Projekty realizowane przez ICHTJ w ramach POIG oraz 7PR EURATOM nie wyczerpują wszystkich zaangażowań "projektowych" Instytutu. Instytut realizuje również projekty badawcze krajowe. Na wyróżnienie zasługuje strategiczny projekt badawczy pt. "Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej".

ICHTJ uczestniczy w konsorcjach do realizacji trzech zadań badawczych:

- Podstawy zabezpieczenia potrzeb paliwowych polskiej energetyki jądrowej;
- Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi;
- Analiza możliwości i kryteriów udziału polskiego przemysłu w rozwoju energetyki jądrowej;
- Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej. Samodzielnie prowadzi prace badawcze pn. Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi.

Instytut reprezentuje nasz kraj w Euratom Supply Agency, w różnych komisjach Nuclear Energy Agency OECD oraz w sekcji paliwowej IFNEC (Komitetu Wykonawczego Międzynarodowych ram Współpracy dla Energetyki Jądrowej – International Framework for Nuclear Energy Cooperation)).

Warto przypomnieć nie wszystkim znany fakt, że ICHTJ jest jedynym polskim instytutem, który otrzymał tytuł Centrum Współpracującego z Międzynarodową Agencją Energetyki Atomowej MAEA w zakresie Technologii Radiacyjnych i Dozymetrii Przemysłowej (*IAEA Collaborating Centre on Radiation Processing and Industrial Dosimetry*). Na świecie zaledwie 18 ośrodków badań jądrowych zostało w ten sposób wyróżnionych. W tej elitarnej grupie znajdują się m.in. takie instytuty, jak: Argonne National Laboratory, USA; Australian Nuclear Science and Technology Organization; National Institute of Radiological Science, Chiba, Japonia; Sincrotrone ELETTRA, Triest, Włochy.

Nominacja MAEA stanowi dowód uznania dla osiągnięć instytutu w zakresie technologii radiacyjnych, związanych zwłaszcza z wykorzystaniem akceleratorów elektronów.

Przedstawione powyżej pobieżnie i wybiórczo przykłady uczestniczenia ICHTJ w realizacji kilkunastu projektów badawczych, w tym zwłaszcza projektów z 7. PR Euratom-Fission uzasadniają w pełni tezę, że

ICHTJ jest ważnym – i niezbędnym – ogniwem w procesie wdrażania Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. Potwierdzeniem tej tezy jest podpisanie przez ICHTJ dwustronnego porozumienia ramowego o współpracy z Państwową Agencją Atomistyki w zakresie wspomagania tego urzędu w działaniach związanych z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną. Jest to ważny krok w umocnieniu trwającej od wielu lat współpracy tych instytucji. Jest to początek struktur pozwalających na stworzenie, w miarę potrzeb, organizacji Technical Support Organization (TSO), która może udzielać technicznego i eksperckiego wsparcia szeregu działaniom prowadzonym przez odpowiednie organy państwa. W przypadku ICHTJ umowa przewiduje, że instytut zobowiązuje się jako ekspert do opracowywania na potrzeby Zleceniodawcy (PAA) ekspertyz z zakresu następujących dziedzin:

- dozymetrii biologicznej, w tym cytogenetycznych metod oceny dawki pochłoniętej u osób narażonych na promieniowanie jonizujące oraz nowych (niecytogenetycznych) metod dozymetrii indywidualnej;
- radiobiologii, szczególnie radiotoksykologii i radiobiologii komórkowej, podstaw oporności komórek ssaków na promieniowanie jonizujące i stres oksydacyjny;



Fot. 3. Budowa instalacji w budynku laboratorium Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej na potrzeby energetyki jądrowej i medycyny nuklearnej

- genetycznych i epigenetycznych czynników odpowiedzialnych na promieniowanie jonizujące;
- cyklu paliwowego, począwszy od wydzielania uranu z rud, a na przerobie wypalonego paliwa jądrowego kończąc;
- oddziaływania promieniowania jonizującego z materią nieożywioną, szczególnie odporności radiacyjnej polimerów i rozcieńczalników stosowanych podczas przerobu wypalonego paliwa jądrowego;
- oceny kompetencji laboratoriów radiochemicznych tworzących sieć monitoringu radiacyjnego kraju wykonywaną na podstawie porównań międzylaboratoryjnych i badań biegłości zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17043:2010;
- detekcji oraz pomiarów zawartości radionuklidów *alfa-* *beta-* i *gamma*-promieniotwórczych w materiałach środowiskowych i żywności w przypadkach zdarzeń radiacyjnych;
- detekcji oraz pomiarów kontrolnych materiałów eksploatacyjnych i wody chłodzącej obu obiegów reaktorów jądrowych.

Porozumienie z PAA podpisał także CLOR, z którym instytut ściśle współpracuje w zakresie ochrony radiologicznej i radiochemii środowiskowej.

Instytucje przystępujące do realizacji PPEJ muszą swoje działania opierać o znajomości zagadnień przemysłowych i doświadczeniach współpracy z przemysłem. ICHTJ od wielu lat współpracuje z sektorem energetycznym, znane są jego osiągnięcia w zakresie zastosowania technik radiacyjnych do oczyszczania gazów spalinowych z elektrowni opalanych węglem, radiometrycznych urządzeń do pomiaru emisji pyłów ze spalania paliw kopalnych. Od wielu lat ekipy Instytutu prowadzą izotopowe badania szczelności instalacji i rurociągów dla Polskiego Koncernu Naftowego ORLEN S.A. i Przedsiębiorstwa Eksploatacji Rurociągów Naftowych RERN. Już ponad 10 lat instytut wykorzystując analizy izotopów trwałych i analiz chemicznych prowadzi ocenę kopalń w Bełchatowie, a górnicy korzystają z mierników radonu produkowanych w instytucie. Te wszystkie fakty świadczą o tym, że ICHTJ jest dobrze umocowany w przemyśle energetycznym, posiadającym odpowiednie referencje, instytutem badawczym.

*na podstawie materiałów
udostępnionych przez dyrektora ICHTJ,
prof. Andrzeja Chmielewskiego,
opracował dr Stanisław Latek*

Fotografie: Katarzyna Janusz



Fot. 4. Magazyn materiałów jądrowych i odpadów promieniotwórczych oraz źródeł promieniotwórczych

HORMEZA POPROMIENNA: AUTOFAGIA I INNE MECHANIZMY KOMÓRKOWE

Irena Szumiel



WSTĘP

Jeden z ojców radiobiologii, współautor pierwszego podręcznika (Fundamentals of radiobiology, Zénon M. Bacq i Peter Alexander, 1955 r.), prof. Peter Alexander udzielił pod koniec życia wywiadu, w którym sceptycznie ocenił

doświadczenia mające na celu ustalenie wyników działania bardzo niskich dawek promieniowania jonizującego na organizmy żywe. Powiedział wtedy, że **zamiast napromieniać tysiące myszy niskimi dawkami i wyciągać niepewne wnioski z niejednoznacznych wyników - należy bardzo dobrze poznać mechanizmy komórkowe odpowiedzi na dawki promieniowania jonizującego, które wywołują wyraźne skutki.**

Opinię tę, warto zastosować do hormezy radiacyjnej. Jak wiadomo, termin hormezy oznacza działanie pobudzające i/lub dobroczynne niskiej dawki czynnika, który w wyższej dawce jest toksyczny. W przypadku hormezy radiacyjnej zakłada się, że bardzo niskie dawki promieniowania mogą działać korzystnie zarówno na poziomie komórkowym, jak i na poziomie całego organizmu. Wśród mechanizmów komórkowych odpowiedzi na promieniowanie jonizujące należy zatem znaleźć takie, którym można by przypisać rolę w hormezie radiacyjnej. Istotnie, w określonych układach doświadczalnych na poziomie komórkowym można dopatrzeć się działania hormetycznego i – dzięki wielkiemu postępowi w dziedzinie biologii komórkowej, jaki nastąpił w ostatnich latach - wiadomo, jakie mechanizmy są za to odpowiedzialne. Trudno jednak zgodzić się z poglądem, że **przy obecnym stanie wiedzy** jest to podstawa do złagodzenia przepisów obowiązujących w ochronie radiologicznej i do przyjęcia założenia, że bardzo niskie dawki i moce dawek nigdy nie szkodzą i zawsze działają korzystnie. Prawidłowe jest natomiast założenie, że raz

szkodzą a raz nie; zależy to od bardzo wielu uwarunkowań. Obecnie nie można jeszcze skutecznie kontrolować przebiegu procesów komórkowych prowadzących do skutków zarówno pozytywnych, jak i negatywnych po ekspozycji na bardzo niskie dawki promieniowania. Ponadto, skutki ekspozycji na promieniowanie jonizujące są zawsze różnorodne, ujawniają się w różnym czasie po ekspozycji i w różnym stopniu w poszczególnych typach komórek. W konsekwencji – jednoznaczna ocena stopnia ich sumarycznej szkodliwości lub braku szkodliwości dla organizmu jest bardzo trudna. Dopóki wiedza o mechanizmach komórkowych działających w odpowiedzi na niskie dawki promieniowania jonizującego nie będzie pełniejsza, pozostają w mocy wnioski sformułowane przez Thayera i współpracowników w pracy o wymownym tytule "Fundamental flaws of hormesis for public health decisions" [1]. W dalszym tekście przytoczone zostaną dane, które to stanowisko uzasadniają.

ZJAWISKA „NIECELOWANE” W OBSZARZE BARDZO MAŁYCH DAWEK PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

Czynnikiem komplikującym analizę zależności dawka-efekt w obszarze bardzo małych dawek promieniowania jonizującego jest występowanie w wyniku ekspozycji zjawisk „non-targeted” – niecelowanych (niekierowanych), które cechuje brak zależności od wielkości dawki. Są to: efekt sąsiedztwa (efekt widza) [2-6], odpowiedź radioadaptacyjna [5, 7-9] i niestabilność genetyczna [10]. Brak zależności od wielkości dawki uważa się za dowód, że bardzo niska dawka promieniowania wywołuje powstanie w komórce sygnału na zasadzie „wszystko albo nic”. Wiele wskazuje na epigenetyczny charakter przynajmniej niektórych zmian indukowanych przez bardzo niskie dawki promieniowania w sposób niezależny od wielkości dawki [10, 11]. Oznacza to zmiany w ekspresji genów, niezależne od

ich sekwencji nukleotydowej, zazwyczaj polegające na uniemożliwieniu transkrypcji w wyniku deacetylacji histonów lub metylacji DNA.

Wymienione rodzaje odpowiedzi na niskie dawki ujawniają się w różnym czasie po ekspozycji i mają przeciwstawne skutki. Ich znaczenie dla oceny ryzyka i przebiegu zależności dawka-efekt w obszarze niskich dawek jest przedmiotem sporów i dyskusji [4, 12-17].

REAKTYWNE POSTACIE TLENU GENEROWANE PRZEZ PROMIENIOWANIE JONIZUJĄCE – CZY ZAWSZE SZKODLIWE?

Reaktywne postacie tlenu (RPT; termin zalecany w „Postęпах Biochemii” przez profesora Bartosza) to tlen singletowy, nadttlenki, ponadtlenki, kwas podchloryny oraz rodniki: anionorodnik ponadtlenkowy i rodnik hydroksylowy. Niektóre z nich powstają w komórkowych procesach metabolicznych. Nie można jednak na tej podstawie sądzić, że nie są szkodliwe. Jest wiele doświadczeń na układach modelowych, które dowodzą, że istotnie RPT nie zawsze są szkodliwe, jednak zależy to od bardzo licznych, nie do końca rozpoznanych uwarunkowań. Przykłady takich danych czytelnik znajdzie w dalszym tekście. Tym niemniej, jest także bardzo wiele danych doświadczalnych pokazujących szkodliwe działanie RPT wytwarzanych w komórkach, które ekspozowano na czynniki wywołujące stres oksydacyjny, zaś uruchamiane w tej sytuacji procesy komórkowe zostały bardzo szczegółowo scharakteryzowane. Liczne niekorzystne następstwa działania RPT zostały niedawno opisane w specjalnych zeszytach „Postępów Biochemii” pod redakcją Grzegorza Bartosza (część I, 56, Nr 2/2010; część II, 56, Nr 3/2010) poświęconych różnym aspektom stresu oksydacyjnego. Sposób i miejsce generowania RPT mają duże znaczenie dla losu komórki. Promieniowanie jonizujące także wywołuje stres oksydacyjny, jednak – w odróżnieniu od niektórych czynników chemicznych – działa na wszystkie przedziały komórkowe. Powstające w napromienionej komórce uszkodzenia DNA w znacznym stopniu określają przebieg odpowiedzi komórkowej. Duży wpływ na ten przebieg ma moc dawki: moc bardzo niska (poniżej 5 mGy/h) [18] daje skutki zbliżone do naturalnego stresu oksydacyjnego, jaki występuje w każdej komórce oraz szansę do uruchomienia obronnych mechanizmów antyoksydacyjnych. Im wyższa moc dawki – tym mniejsza taka szansa i tym większe są uszkodzenia genomu i struktur komórkowych.

Badając działania promieniowania jonizującego w warunkach doświadczalnych stosuje się takie dawki, jakie pozwalają uzyskać wyraźny, dający się oznaczyć skutek. Założenie *a priori*, że takie same, tylko słabsze

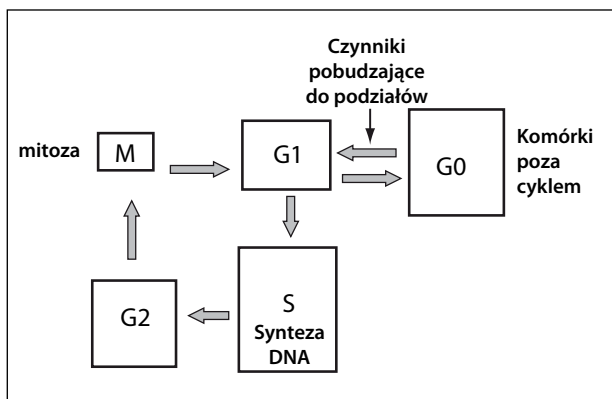
efekty wystąpią po obniżeniu dawki może prowadzić do błędnych wniosków. Po ekspozycji na bardzo niskie dawki otrzymanie statystycznie znamiennych wyników doświadczeń napotyka jednak na duże trudności wobec dużego rozrzutu danych, koniecznej wysokiej liczby powtórzeń i doboru odpowiednich grup kontrolnych, co znakomicie opisuje praca Hendry’ego i współpr. [19]. Nic dziwnego, że interpretacja doświadczeń lub badań epidemiologicznych mających rozstrzygać o występowaniu lub braku efektu hormetycznego po działaniu niskich dawek promieniowania jonizującego jest źródłem kontrowersji. Krytyczną ocenę interpretacji danych doświadczalnych dotyczących hormezy popromiennej zainteresowani czytelnicy znajdą w „Postęпах Techniki Jądrowej” [6]. Jestem jej współautorką i podtrzymuję wyrażone w tym tekście opinie.

O ile w toksykologii efekty hormetyczne nie budzą wątpliwości, to w radiobiologii i ochronie radiologicznej niewiele tematów budzi tyle kontrowersji, co hormeza. Wielu autorów uważa jednak, że bardzo niskie dawki promieniowania jonizującego powodują korzystne dla człowieka i zwierząt pobudzenie podziałów komórkowych oraz naprawy DNA a także przeciwdziałanie starzeniu i przedłużenie życia [20-23]. Poniżej przedstawione zostały komentarze dotyczące tych rodzajów odpowiedzi hormetycznej.

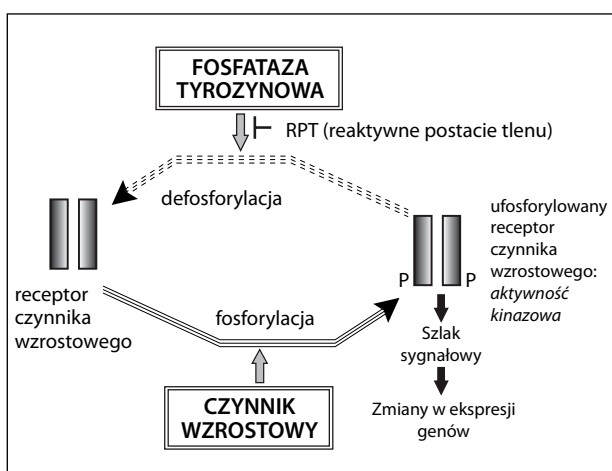
POBUDZENIE PODZIAŁÓW KOMÓRKOWYCH

Pobudzenie podziałów komórkowych pod wpływem bardzo niskich dawek promieniowania jonizującego jest często podawane jako przykład hormezy radiacyjnej. Istotnie, ma to miejsce i znamy mechanizm tego zjawiska.

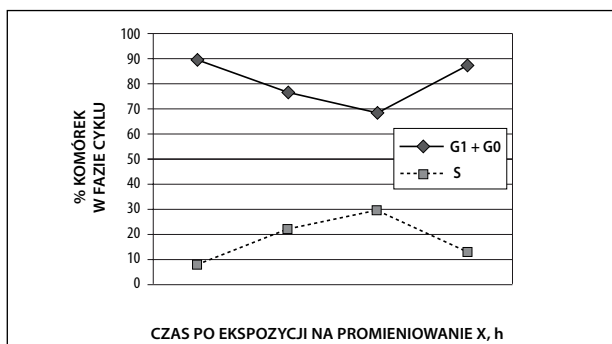
W populacji komórkowej istnieją zawsze 2 pule – komórek w fazie stacjonarnej G0 i komórek dzielących się, w pozostałych fazach cyklu (rys. 1). Bodźcem do wyjścia komórki z fazy G0 jest zadziałanie któregoś z czynników wzrostowych. Są to białka, których jest wiele rodzajów, swoistych dla różnych typów komórek. Regułą jest, że cząsteczka czynnika wzrostowego przyłącza się do receptora na powierzchni komórki. W uproszczeniu – powoduje to ufosforylowanie receptora i jego aktywację, co zapoczątkowuje sygnał odbierany w jądrze komórkowym. Wynikiem jest uruchomienie syntezy lub aktywacji „białek wykonawczych” i wejście komórki w fazę G1, a następnie w kolejne fazy cyklu komórkowego aż do fazy podziałowej, czyli mitozy. W rezultacie obserwujemy w populacji komórkowej więcej podziałów i przyrost liczby komórek.



Rys. 1. Schemat powiązań między subpopulacjami komórek w poszczególnych fazach cyklu komórkowego



Rys. 2. Przesunięcie się równowagi między postaciami ufosforylowaną (aktywną) i nieufosforylowaną (nieaktywną) receptora czynnika wzrostowego pod wpływem niskiej dawki promieniowania. W komórce podnosi się poziom RPT; następuje przesunięcie równowagi w kierunku postaci aktywnej, ponieważ utlenieniu ulegają reszty cysteinowe w miejscach aktywnych fosfataz tyrozynowych. Zaktywowany receptor jest źródłem sygnału, który uruchamia na przykład przechodzenie komórek z fazy G0 do fazy G1 cyklu komórkowego



Rys. 3. Przykład pobudzenia komórek do przechodzenia przez cykl komórkowy pod wpływem małej dawki promieniowania X. Komórki macierzyste izolowane ze szpiku szczurów Wistar na-promieniono dawką 75 mGy przy mocy dawki 100 mGy/min. Dane z pracy Lianga i współpr. [26]

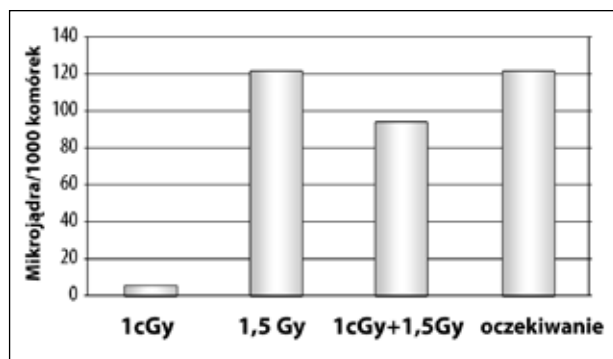
Receptory czynników wzrostowych podlegają też defosforylacji pod wpływem fosfataz, enzymów, których cechą charakterystyczną są bardzo wrażliwe na utlenienie reszty cysteinowe w miejscu katalitycznym [24, 25]. W komórce ustala się równowaga między postaciami ufosforylowaną (aktywną) i nieufosforylowaną (nieaktywną) receptora. Pod wpływem niskiej dawki promieniowania w komórce podnosi się poziom RPT; następuje przesunięcie równowagi w kierunku postaci aktywnej, ponieważ utlenieniu ulegają reszty cysteinowe w miejscu aktywnym fosfataz (rys. 2). W miarę upływu czasu po napromienieniu zmieniają się proporcje między subpopulacjami w poszczególnych fazach cyklu komórkowego. Przykład takiej zmiany [26] przedstawia rys. 3.

Jednocześnie na elektroforogramach białek wyodrębnionych z badanych komórek pojawiają się prążki ufosforylowanych kinaz białkowych, co świadczy o przekazywaniu sygnału od receptorów w błonie plazmatycznej przez kolejne kinazy białkowe. Sygnał dociera do jądra komórkowego i uruchamia transkrypcję różnych grup genów, między innymi – genów antyoksydacyjnych. Ich produkty białkowe skutecznie „sprzątają” nadmiar RPT i przywracają stan wyjściowy.

Takie pobudzenie podziałów komórkowych ma charakter krótkotrwały; w hodowli komórkowej zanika po 1-3 podziałach. **Nie ma podstaw sądzić, żeby tego rodzaju efekt przy ekspozycji długotrwałej był zawsze korzystny dla organizmu i przeważał nad skutkami negatywnymi. Należy dodać, że te szlaki sygnalizacyjne, które działają w odpowiedzi na czynniki wzrostowe, zwykle są pobudzone w komórkach nowotworowych i odpowiadają za ich niekontrolowany rozrost. Trudno zatem podzielić pogląd propagowany przez entuzjastów hormezy radiacyjnej, że namnażanie komórek układu immunologicznego jest zawsze korzystne dla organizmu.**

ODPOWIEŹ RADIOADAPTACYJNA

W radiobiologii jest to odpowiedź komórki podanej działaniu słabego bodźca lub czynnika wywołującego stres (bardzo niska dawka promieniowania jonizującego lub ultrafioletowego, łagodna hipertermia, pole magnetyczne, czynniki utleniające, kwercetyna, wortmanina, estry forbolowe), a następnie potraktowanej dawką promieniowania jonizującego wywołującą uszkodzenie DNA, którego miarą na poziomie komórkowym jest częstość mutacji, mikrojąder, aberracji chromosomowych lub przeżywalność [9]. Wyniki typowego doświadczenia [27] przedstawia rys. 4. Często przyjmowany pogląd, że obniżony poziom uszkodzeń chromosomów wynika z pobudzenia proce-



Rys. 4. Przykład odpowiedzi adaptacyjnej w limfocytach ludzkich. Dane z pracy Wojewódzkiej i współpr. [27]

sów naprawy DNA ma słabe podstawy doświadczalne (por.[6]). Równie uprawniony jest pogląd, że odpowiedź radioadaptacyjna polega na zmniejszonym utrwaleniu uszkodzeń DNA [9].

W ostatnich latach ukazały się prace wskazujące na udział różnych szlaków sygnalizacyjnych w odpowiedzi radioadaptacyjnej, m.in. z udziałem tlenu azotu [28] i NF- κ B (*nuclear factor- κ B*, czynnik transkrypcyjny κ B) [29]. Według [30-32] najważniejszym przekaźnikiem jest czynnik nekrozy guza TNF α , który - wiążąc się do swojego receptora, uruchamia sygnalizację, powodującą aktywację transkrypcji genu SOD2. Koduje on mitochondrialną dysmutazę ponadtlenkową. Enzym ten stanowi ważny element obrony antyoksydacyjnej i jak się wydaje - chroni komórkę przed uszkodzeniami wywołanymi przez kolejną dawkę promieniowania. Co interesujące, nie tylko różnorodne bodźce wywołują odpowiedź radioadaptacyjną, ale cechuje ją znaczna zmienność wewnątrz- i międzyosobnicza. Nasuwa to przypuszczenie, że mamy tu do czynienia z nieswoistą odpowiedzią na słabe bodźce wywołujące stres i jeden z elementów odpowiedzi powoduje zwiększoną oporność na promieniowanie jonizujące.

Odpowiedź radioadaptacyjna badana na układach modelowych wymaga ściśle zdefiniowanych warunków, innych dla każdego czynnika indukującego i typu komórek. Przykładem mogą tu być wyniki doświadczeń na fibroblastach ludzkich [7]. Stosowano w ich przypadku dawkę indukującą w zakresie od 1 do 500 mGy promieniowania *gamma* lub *beta* przy mocy dawki 1 – 3 mGy/min. Następnie komórki otrzymywały dawkę 4 Gy i oceniano częstość mikrojąder. Jej spadek w stosunku do jednorazowego efektu dawki 4 Gy + dawka indukująca był miarą odpowiedzi radioadaptacyjnej. Była ona identyczna w całym zakresie dawek i mocy dawek. Natomiast badając odpowiedź radioadaptacyjną limfocytów ludzkich stwierdzono, że im wyższa była dawka indukująca, tym niższa moc dawki była potrzebna do indukowania maksymalnej odpowiedzi (mierzonej

uszkodzeniami chromatyd) [8]. Na przykład przy dawce 0,5 Gy uzyskiwano odpowiedź przy mocy dawki 0,005 lub 0,01 Gy/min lecz nie przy 0,1, 0,2 lub 0,5 Gy/min. Z kolei indukcja pod wpływem 0,01Gy zachodziła przy mocy dawki 0,2 Gy/min lecz nie 0,005 Gy/min.

Trudno się więc spodziewać, żeby u każdego człowieka narażonego na promieniowanie jonizujące o niskiej mocy dawki zostały dotrzymane wymienione powyżej dość restrykcyjne warunki, niezbędne do wywołania odpowiedzi radioadaptacyjnej. **Istotnie, założenie, że ciągła ekspozycja na bardzo niskie dawki promieniowania wpływa na naprawę DNA u ludzi nie zostało potwierdzone po awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu.** Ukazało się wiele publikacji na temat promieniowrażliwości i zdolności do odpowiedzi adaptacyjnej limfocytów pobranych od ludzi z okolic skażonych w różnym stopniu radionuklidami. Między innymi, badano ją u ludzi z okolic Briańska, gdzie występował podwyższony poziom radionuklidów [33, 34]. Ekspozycja limfocytów *in vitro* na promieniowanie X lub *gamma* indukowała mikrojądra z jednakową częstością u tych osób i u ludzi z terenów „kontrolnych” (obwodu moskiewskiego). W limfocytach osób dorosłych i dzieci z terenów skażonych (Rosji, Białorusi i Ukrainy) częściej nie udawało się indukować odpowiedzi radioadaptacyjnej, bądź była ona słabsza, niż w grupie kontrolnej [33-35]. Odnotowano także przypadki promieniouczulenia przez dawkę adaptacyjną, których nie było w grupie kontrolnej [36]. Nie stwierdzono także różnic w naprawie DNA w limfocytach pobranych od dzieci z grupy narażonej i kontrolnej [33, 34, 37, 38]. Biorąc pod uwagę te doniesienia należy uznać, że pogląd o zwiększaniu promieniooporności u ludzi narażonych na chroniczne działanie niskich dawek promieniowania dzięki indukowaniu odpowiedzi radioadaptacyjnej jest nieuzasadniony. Z wymienionymi wynikami negatywnymi kontrastują jednak pozytywne – uzyskane dla limfocytów ludzi żyjących na terenach o podwyższonym promieniowaniu tła (Ramsar, Indie) [39, 40]. Trzeba jednak dodać, że w ich limfocytach oznaczone metodą kometową uszkodzenia DNA były wyższe niż u ludzi z terenów o niższym promieniowaniu tła [41].

HORMEZA RADIACYJNA A PROCESY STARZENIA

Niedawno ukazał się doskonały artykuł przeglądowy Krzysztofa Książka podsumowujący stan wiedzy o stresie oksydacyjnym jako przyczynie starzenia się organizmów na różnych szczeblach rozwoju ewolucyjnego [42]. Przytoczono w nim wiele danych doświadczalnych, pokazujących wielokierunkowe działanie RPT.

RPT w organizmach żywych nie tylko mogą powstawać pod wpływem promieniowania jonizującego generowanego w środowisku ze źródeł naturalnych, ale także tworzą się w normalnych procesach komórkowych. W komórkach ssaków RPT powstają w 3 miejscach: w mitochondriach, w cytoplazmie (w wyniku działania oksydaz NADPH) oraz w retikulum endoplazmatycznym (RE; w tzw. odpowiedzi na białka błędnie sfałdowane). Mitochondria są wrażliwe na RPT i reagują na ich nadmiar zwiększoną produkcją RPT wskutek dysfunkcji łańcucha oddechowego. Oksydazy NADPH są przez RPT aktywowane. W skrajnej sytuacji, wskutek takiego sprzężenia zwrotnego dodatniego może dojść do uszkodzeń składników komórki, jeżeli obrona antyoksydacyjna jest zbyt słaba. W starzejącym się organizmie dochodzi do wzrostu uszkodzeń DNA; także mitochondria ulegają uszkodzeniom, co powoduje dalszy wzrost RPT i wywoływanych przez nie uszkodzeń oraz eliminację uszkodzonych komórek w procesie apoptozy.

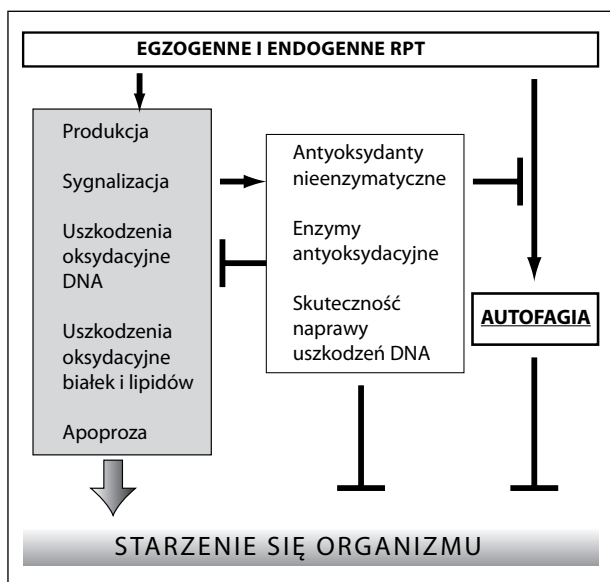
Komórki dysponują mechanizmami obronnymi. Rys. 5 pokazuje schematycznie zmiany w komórce następujące pod wpływem endo- i egzogennych RPT. Od ich zrównoważenia zależy los komórki. Antyoksydanty nieenzymatyczne oraz enzymy antyoksydacyjne, których poziom w miarę potrzeby jest szybko uzupełniany przez aktywację transkrypcji odpowiednich genów, radzą sobie z nadmiarem RPT w warunkach umiarkowanego stresu oksydacyjnego i powstrzymują zmiany prowadzące między innymi do starzenia ko-

mórkowego i starzenia się organizmu.

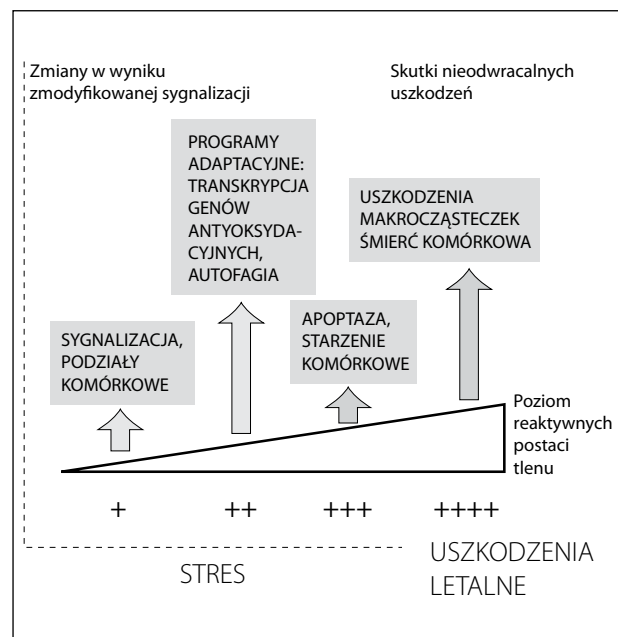
W ten obraz został niedawno wpisany jeszcze jeden proces - autofagia. Jest to proces adaptacji do różnych warunków stresowych, takich jak brak składników pokarmowych, uszkodzenia oksydacyjne, stres RE spowodowany błędnym sfałdowaniem białek, konieczność usunięcia uszkodzonych organelli komórkowych. Autofagia polega na otoczeniu makrocząstek, pęcherzyków endosomowych lub organelli błoną z wytworzeniem pęcherzyka (autofagosomu), który następnie ulega fuzji z lizosomem, tworząc autolizosom. Tam następuje degradacja zawartości do składników niskocząsteczkowych, które mogą być przez komórkę wykorzystane do syntezy potrzebnych makrocząstek. Jest to proces bardzo złożony; w drożdżach zidentyfikowano 31 genów ATG (skrót z ang. *Autophagy related genes*). U człowieka scharakteryzowano dotychczas białka kodowane przez 16 genów, bardzo podobnych do genów drożdży.

Okazało się, że autofagia może być indukowana przez RPT a hamowana przez antyoksydanty [43-45]). Od 2001 r. wiadomo już, że także promieniowanie jonizujące indukuje autofagię [46-48], a ponadto czynniki chemiczne wywołujące autofagię działają promienioochronnie [49]. W 2011 r. po raz pierwszy wskazano na autofagię jako na mechanizm popromiennych efektów hormetycznych [50].

Brak niektórych genów autofagii powoduje, że ograniczenie kaloryczne, przedłużające życie na niemal wszystkich szczeblach rozwoju ewolucyjnego nie jest



Rys. 5. Dodatni i ujemny wpływ RPT na starzenie komórkowe. Uszkodzenia wywoływane przez RPT są przyczyną starzenia, natomiast indukowana przez RPT autofagia przeciwdziała starzeniu, usuwając uszkodzone mitochondria

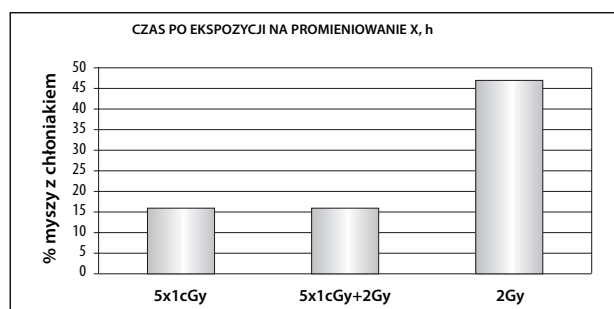


Rys. 6. Skutki powodowane w komórce przez wzrastający stres oksydacyjny (rysunek zaadaptowany z [53])

skuteczne. Kluczową rolę autofagii w procesie starzenia wydaje się być usuwanie uszkodzonych (dysfunkcyjnych) mitochondriów, które są źródłem RPT [51, 52]. Jest to spójne z najbardziej popularną teorią starzenia (por. m.in. [51-53]), w której rolę głównego sprawcy przypisuje się mitochondriom z dysfunkcją łańcucha oddechowego, będącym źródłem RPT. Zatem w prawidłowo funkcjonującej komórce nadmiar RPT pobudza autofagię, dzięki czemu mitochondria z defektem zostają usunięte. Trudno jest jednak zdefiniować owo prawidłowe funkcjonowanie i określić, jaki poziom RPT jest bezpieczny. Prosty schemat [53] (rys. 6), ilustrujący skutki powodowane przez wzrastający stres oksydacyjny ma tę wadę, że liczby plusów nie dają się przy obecnym stanie wiedzy przełożyć na ilości i lokalizację wewnątrzkomórkowe poszczególnych rodzajów RPT. Dodatkową komplikacją jest zdolność RPT do indukowania śmierci komórkowej przez apoptozę, zaś szlaki sygnalizacyjne apoptozy i autofagii krzyżują się [45]. Wskutek tego równowaga między tymi procesami jest obwarowana bardzo licznymi, nie do końca jeszcze zdefiniowanymi warunkami. W dodatku – wbrew obiegowym opiniom – **nadmiar antyoksydantów w pożywieniu nie zawsze musi być korzystny dla opóźniania procesów starzenia, skoro hamowanie przez nie autofagii sprzyja pozostawianiu w komórce dysfunkcyjnych mitochondriów.**

HORMEZA RADIACYJNA A CHOROBY NOWOTWOROWE

Wielu autorów zajmujących się hormezą radiacyjną wyraża przekonanie, że niskie dawki promieniowania chronią przed chorobami nowotworowymi. Podstawą do takiej opinii są doświadczenia na modelach zwierzęcych, w których niskie dawki promieniowania poprzedzające wyższą dawkę, indukującą nowotwór, obniżają zachorowalność lub spowalniają rozwój choroby no-

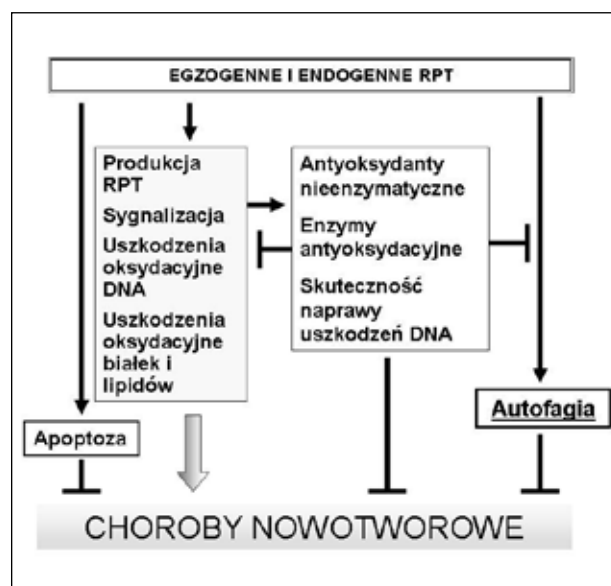


Rys. 7. Przykład doświadczenia na modelu zwierzęcym, pokazujący wpływ bardzo małych dawek na odpowiedź na kolejną (wyższą) dawkę indukującą chłoniak grasicy u myszy Swiss. Dane z pracy [54]

wotworowej. Przykładem może być doświadczenie wykonane na myszach szczepu Swiss, u których promieniowanie *gamma* indukuje w blisko połowie badanych zwierząt chłoniak grasicy. Pięciokrotne napromienienie dawką 1 cGy poprzedzające dawkę indukującą nowotwór – 2 Gy – powodowało, że częstość zachorowań, oceniana 240-340 dni później, spadała dramatycznie, co ilustruje rys. 7 [54].

Ten i podobne wyniki doświadczalne interpretowano dotychczas jako świadczące o odpowiedzi adaptacyjnej. Bardziej prawdopodobna wydaje się jednak inna interpretacja: podobnie jak w przypadku starzenia komórkowego, usuwanie nadmiaru RPT w wyniku autofagii dysfunkcyjnych mitochondriów może skutecznie przeciwdziałać procesom nowotworzenia. Trzeba jednak podkreślić, że w tych doświadczeniach badano zwierzęta o dość szczególnych cechach genetycznych, powodujących, że promieniowanie wywoływało nowotwór w wysokim procencie.

Wbrew oczekiwaniom, obfitość antyoksydantów w diecie wcale nie zapobiega zapadaniu na nowotwory. Badania przeprowadzone pod tym kątem na bardzo licznych grupach ludzi (np. >250 000; [55]) i różnych typach nowotworów wykazały, że antyoksydanty takie jak *beta*-karoten, retinol, tokoferol, związki seleniu, kwas askorbinowy nie tylko nie obniżyły częstości zachorowań, ale w niektórych przypadkach nawet ją podwyższyły [56-58]. Można się spodziewać, że podobnie, jak w procesach starzenia, także i w tym przypadku niekorzystny dla organizmu jest zarówno nadmiar, jak i niedomiar antyoksydantów (rys. 8).



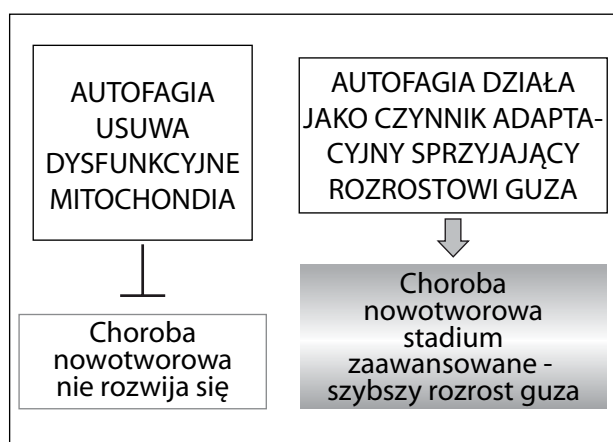
Rys. 8. Dodatni i ujemny wpływ RPT na rozwój choroby nowotworowej. Uszkodzenia wywoływane przez RPT są przyczyną nowotworów, natomiast indukowane przez RPT procesy apoptozy i autofagii przeciwdziałają zachorowaniu

Analiza roli autofagii [59] doprowadziła do wniosku, że o ile jest ona korzystna dla organizmu, przeciwdziałając powstaniu komórek nowotworowych, to – jeżeli guz już powstanie, autofagia działa jako mechanizm adaptacyjny sprzyjający jego rozrostowi (rys. 9). W tym kontekście wydaje się znamienne, że na obszarach o podwyższonym tle promieniowania oceniano zapadalność na choroby nowotworowe (i uzyskiwano wyniki wskazujące na jej obniżenie, jakkolwiek znamienność statystyczna tych wyników jest dyskusyjna – m. in. ze względu na trudność dobrania odpowiedniej grupy kontrolnej). Nie oceniano natomiast przebiegu chorób; w świetle badań nad autofagią można by się spodziewać ich cięższego przebiegu. Ze względów etycznych tego rodzaju oceny nie da się jednak przeprowadzić na populacji ludzkiej.

Trudność z dobraniem grupy kontrolnej omija praca wykonana w Iranie w prowincji Babol [60]. Za chorowalność na nowotwory w okresie pięcioletnim próbowano na tym obszarze skorelować z lokalnymi zróżnicowanymi poziomami promieniowania. Najniższa zapadalność na choroby nowotworowe była w średnim zakresie, tj. 65–80 nSv/h, współczynnik korelacji nie był jednak znamienny statystycznie (-0.43 ($p < 0.01$)).

Można zatem uznać, że brak jest rozstrzygających dowodów na efekt hormetyczny niskich dawek promieniowania w przypadku chorób nowotworowych. Przeciwnie, w niedawno opublikowanej analizie zależności dawka-efekt w przypadku zachorowań na nowotwory, Little [4] stwierdził liniową zależność od dawki nawet w zakresie bardzo małych dawek.

UWAGI KOŃCOWE



Rys. 9. Autofagia jest ona korzystna dla organizmu, przeciwdziałając powstaniu komórek nowotworowych (Rys. 8), ale jeżeli guz już powstanie, to autofagia działa jako mechanizm adaptacyjny sprzyjający jego rozrostowi, utrudnia także skuteczną chemio- i radioterapię, hamując apoptozę.

Postęp w dziedzinie biologii komórkowej, szczególnie zaś odkrycie i scharakteryzowanie autofagii jako procesu związanego z adaptacją do warunków środowiskowych, starzeniem komórkowym, przedłużeniem życia i zapadalnością na choroby nowotworowe pozwala zrozumieć niektóre mechanizmy komórkowe hormezy radiacyjnej obserwowanej w modelowych układach doświadczalnych. Nie oznacza to jeszcze możliwości przełożenia tej wiedzy na działania praktyczne, natomiast wskazuje na konieczność dalszych, daleko szerzej zakrojonych badań i pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

- (1) Prognozowanie odpowiedzi organizmu ludzkiego na promieniowanie jonizujące na podstawie wyników badań hormezy radiacyjnej w układach modelowych jest - przy obecnym stanie wiedzy - obarczone dużym poziomem niepewności;
- (2) Dodatkowe czynniki utrudniające, to uwarunkowana genetycznie zmienność osobnicza, znaczna różnorodność odpowiedzi poszczególnych tkanek, wpływ na odpowiedź trudnych do oceny ilościowej czynników, takich jak sposób odżywiania, nałogi, obecność czynników toksycznych w środowisku;
- (3) Na obecnym etapie badań nieuzasadnione byłoby przenoszenie wniosków z badań modelowych na przepisy w ochronie radiologicznej.

*prof. dr hab. Irena Szumiel,
Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

Prof. Irena Szumiel należy do grona najwybitniejszych europejskich radiobiologów. W latach 1990–2007 była kierownikiem Zakładu Radiobiologii i Ochrony Zdrowia ICHTJ. Jest laureatką wielu nagród i wyróżnień polskich i międzynarodowych.

Nagrody i wyróżnienia obejmują: dwukrotnie nagrodę Rady ds. Atomistyki za badania w dziedzinie radiobiologii (lata 1973, 1979), sześciokrotnie nagrodę w dziedzinie radiobiologii komórkowej (lata 1976, 1982, 1986, 2001, 2004, 2007), trzy nagrody im. B. Skarżyńskiego za najlepszy artykuł przeglądowy w Postęпах Biochemii (lata 1963, 1966, 1970), medal Marii Skłodowskiej-Curie Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych (1998), medal Hannsa Langendorffa przyznany przez Niemieckie Towarzystwo Medyczne Ochrony Radiologicznej (2001), medal Bacq'a i Alexandra przyznany przez Europejskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych (2007), Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski - za wybitne zasługi w pracy naukowej i badawczej na rzecz gospodarki narodowej (2005), dyplom za tworzenie piękna przyznany przez kapitułę ruchu „Piękniejsza Polska,” (2006).

Literatura

1. K.A. Thayer, R. Melnick, K. Burns, D. Davis, J. Huff. *Fundamental flaws of hormesis for public health decisions*, Environ Health Perspect. 113 (2005) 1271-1276.
2. N. Hamada, H. Matsumoto, T. Hara, Y. Kobayashi. *Intercellular and intracellular signaling pathways mediating ionizing radiation-induced bystander effects*, J Radiat. Res (Tokyo). 48 (2007) 87-95.
3. T.K. Hei, H. Zhou, V.N. Ivanov, M. Hong, H.B. Lieberman, D. J. Brenner, S.A. Amundson, C. R. Geard. *Mechanism of radiation-induced bystander effects: a unifying model*, J Pharm. Pharmacol. 60 (2008) 943-950.
4. M.P. Little. *Do non-targeted effects increase or decrease low dose risk in relation to the linear-non-threshold (LNT) model?*, Mutat. Res. 687 (2010) 17-27.
5. C. Mothersill, C. Seymour. *Radiation-induced bystander effects and adaptive responses--the Yin and Yang of low dose radiobiology?*, Mutat. Res. 568 (2004) 121-128.
6. A. Wojcik, I. Szumiel, J. Liniecki. *Hormeza czy to zjawisko powszechne i powszechnie nieznane?*, „Postępy Techniki Jądrowej”, (2006) 34-39.
7. E.J. Broome, D.L. Brown, R.E. Mitchel. *Dose responses for adaption to low doses of (60)Co gamma rays and (3)H beta particles in normal human fibroblasts*, Radiat. Res. 158 (2002) s. 181-186.
8. J. D. Shadley, J. K. Wiencke. *Induction of the adaptive response by X-rays is dependent on radiation intensity*, Int. J Radiat. Biol. 56 (1989) 107-118.
9. I. Szumiel. *Adaptive response: stimulated DNA repair or decreased damage fixation?*, Int. J Radiat. Biol. 81 (2005) 233-241.
10. U. Aypar, W. F. Morgan, J. E. Baulch. *Radiation-induced genomic instability: are epigenetic mechanisms the missing link?*, Int. J Radiat. Biol. 87 (2011) 179-191.
11. O. Kovalchuk, J. E. Baulch. *Epigenetic changes and nontargeted radiation effects--is there a link?*, Environ Mol. Mutagen. 49 (2008) 16-25.
12. J. B. Little. Lauriston S. *Taylor lecture: nontargeted effects of radiation: implications for low-dose exposures*, Health Phys. 91 (2006) 416-426.
13. W. F. Morgan. *Is there a common mechanism underlying genomic instability, bystander effects and other nontargeted effects of exposure to ionizing radiation?*, Oncogene. 22 (2003) 7094-7099.
14. W.F.Morgan, M.B.Sowa. *Non-targeted effects of ionizing radiation: implications for risk assessment and the radiation dose response profile*, Health Phys. 97 (2009) 426-432.
15. D. Auerbeck. *Non-targeted effects as a paradigm breaking evidence*, Mutat. Res. 687 (2010) 7-12.
16. D.T. Goodhead. *New radiobiological, radiation risk and radiation protection paradigms*, Mutat. Res. 687 (2010) 13-16.
17. D.T. Goodhead. *Panel discussion: Do non-targeted effects impact the relation between microdosimetry and risk?*, Radiat. Prot. Dosimetry. 143 (2011) 554-556.
18. R. Wakeford, E.J. Tawn. *The meaning of low dose and low dose-rate*, J Radiol. Prot. 30 (2010) 1-3.
19. J.H. Hendry, S.L. Simon, A. Wojcik, M. Sohrabi, W. Burkart, E. Cardis, D. Laurier, M. Tirmarche, I. Hayata. *Human exposure to high natural background radiation: what can it teach us about radiation risks?*, J Radiol. Prot. 29 (2009) A29-A42.
20. Z. Jaworowski. *Radiation hormesis - a remedy for fear*, Hum. Exp. Toxicol. 29 (2010) 263-270.
21. L.E. Feinendegen. *Reactive oxygen species in cell responses to toxic agents*, Hum. Exp. Toxicol. 21 (2002) 85-90.
22. S.Z. Liu. *Biological effects of low level exposures to ionizing radiation: theory and practice*, Hum. Exp. Toxicol. 29 (2010) 275-281.
23. A. M. Vaiserman. *Radiation hormesis: historical perspective and implications for low-dose cancer risk assessment*, Dose Response. 8 (2010) 172-191.
24. Madeo, N. Tavernarakis, G. Kroemer. *Can autophagy promote longevity?*, Nat. Cell Biol. 12 (2010) 842-846.
25. R.L. van Montfort, M. Congreve, D. Tisi, R. Carr, H. Jhoti. *Oxidation state of the active-site cysteine in protein tyrosine phosphatase 1B*, Nature. 423 (2003) 773-777.
26. X. Liang, Y.H. So, J. Cui, K. Ma, X. Xu, Y. Zhao, L. Cai, W. Li. *The low-dose ionizing radiation stimulates cell proliferation via activation of the MAPK/ERK pathway in rat cultured mesenchymal stem cells*, J. Radiat. Res (Tokyo). 52 (2011) 380-386.
27. M. Wojewódzka, M. Kruszewski, I. Szumiel. *Effect of signal transduction inhibition in adapted lymphocytes: micronuclei frequency and DNA repair*, Int. J Radiat. Biol. 71 (1997) 245-252.
28. H. Matsumoto, A. Takahashi, T. Ohnishi. *Nitric oxide radicals choreograph a radioadaptive response*, Cancer Res. 67 (2007) 8574-8579.
29. K.M. Ahmed, D. Nantajit, M. Fan, J.S. Murley, D.J. Grdina, J.J. Li. *Coactivation of ATM/ERK/NF-kappaB in the low-dose radiation-induced radioadaptive response in human skin keratinocytes*, Free Radic. Biol. Med. 46 (2009) 1543-1550.
30. M. Fan, K.M. Ahmed, M.C. Coleman, D.R. Spitz, J.J. Li. *Nuclear factor-kappaB and manganese superoxide dismutase mediate adaptive radioresistance in low-dose irradiated mouse skin epithelial cells*, Cancer Res. 67 (2007) 3220-3228.
31. J.S. Murley, K.L. Baker, R.C. Miller, T.E. Darga, R.R. Weichselbaum, D.J. Grdina. *SOD2-mediated adaptive responses induced by low-dose ionizing radiation via TNF signaling and amifostine*, Free Radic. Biol. Med. 51 (2011) 1918-1925.
32. J.S. Murley, Y. Kataoka, R.C. Miller, J.J. Li, G. Woloschak, D.J. Grdina. *SOD2-mediated effects induced by WR1065 and low-dose ionizing radiation on micronucleus formation in RKO human colon carcinoma cells*, Radiat. Res. 175 (2011) 57-65.
33. I.I. Pelevina, V.I. Gotlib, O.V. Kudriashova, A.M. Serebrianyi, G.G. Afanas'ev. *[Genomic instability after exposure to radiation at low doses (in the 10-kilometer zone of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station and under laboratory conditions)]*, Radiat. Biol Radioecol. 36 (1996) 546-560.

34. I.I.Pelevina, V.A.Nikolaev, V.I.Gotlib, G.G.Afanas'ev, L.E.Kozlova, A.M.Serebrianyi, D.G.Tereshchenko, V.A.Trinov, E.A.Khramtsova. [The adaptive reaction of the blood lymphocytes in persons subjected to chronic radiation exposure at low doses], Radiats. Biol Radioecol. 34 (1994) 805-817.
35. N.I.Riabchenko, M.M.Antoshchina, V.A.Nasonova, E.V.Fesenko. [The cytogenetic analysis of the adaptive response in the lymphocytes of donors living in areas with different levels of radioactive contamination.], Radiats. Biol Radioecol. 35 (1995) 670-675.
36. G.P.Makedonov, L.V.Tskhovrebova, S.V.Unzhakov, A.N. Semiachkina, I.M. Vasil'eva, G.D. Zasukhina. [Radioadaptive response in lymphocytes of children living in territories polluted by radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl power plant], Radiats. Biol. Radioecol. 37 (1997) 640-644.
37. S.V. Unizhakov, I.M. Vasil'eva, I.A. Meliksetova, A.N. Semiachkina, L.S. Baleva, L.Z. Kazantseva, G.D. Zasukhina. [The formation of an adaptive response in children exposed to the effect of low doses of radiation as a result of the accident at the Chernobyl Atomic Electric Power Station], Radiats. Biol. Radioecol. 34 (1994) 827-831.
38. S.V.Unizhakov, G.N.L'vova, V.V.Chekova, A.N.Semiachkina, L.S.Baleva, G.D.Zasukhina, L.Z.Kazantseva. [Dna repair activity in children exposed to small doses of ionizing radiation as a result of the accident at the Chernobyl nuclear power station], Genetika. 31 (1995) 1433-1437.
39. M. Ghiassi-Nejad, S.M. Mortazavi SM, J.R. Cameron, A. Niroomand-rad, P.A. Karam. Very high background radiation areas of Ramsar, Iran: preliminary biological studies, Health Phys. 82 (2002) 87-93.
40. S. Mohammadi, M. Taghavi-Dehaghani, M.R. Gharaati, R. Masoomi, M. Ghiassi-Nejad. Adaptive response of blood lymphocytes of inhabitants residing in high background radiation areas of Ramsar- micronuclei, apoptosis and comet assays, J Radiat Res (Tokyo) 47 (2006) 279-285.
41. J.R.Masoomi, S.Mohammadi, M.Amini, M.Ghiassi-Nejad. High background radiation areas of Ramsar in Iran: evaluation of DNA damage by alkaline single cell gel electrophoresis (SCGE), J Environ Radioact. 86 (2006) 176-186.
42. K. Książek. Stres oksydacyjny jako uniwersalna przyczyna starzenia się: od somatycznych komórek człowieka do jednokomórkowych drożdży i prokariotycznych komórek bakteryjnych, „Postępy Biochem”. 56 (2010) 260-268.
43. G.Kroemer, G.Marino, B.Levine. Autophagy and the integrated stress response, Mol. Cell. 40 (2010) 280-293.
44. R.Scherz-Shouval, Z.Elazar. Regulation of autophagy by ROS: physiology and pathology, Trends Biochem. Sci. 36 (2011) 30-38.
45. I.Szumiel. Autophagy, reactive oxygen species and the fate of mammalian cells, Free Radic. Res. 45 (2011) 253-265.
46. S.Paglin, T.Hollister, T.Delohery, N.Hackett, M.McMahill, E.Sphicas, D.Domingo, J.Yahalom. A novel response of cancer cells to radiation involves autophagy and formation of acidic vesicles, Cancer Res. 61 (2001) 439-444.
47. S.Paglin, N.Y.Lee, C.Nakar, M.Fitzgerald, J.Plotkin, B.Deuel, N.Hackett, M.McMahill, E.Sphicas, N.Lampen, J.Yahalom. Rapamycin-sensitive pathway regulates mitochondrial membrane potential, autophagy, and survival in irradiated MCF-7 cells, Cancer Res. 65 (2005) 11061-11070.
48. S.Paglin, J.Yahalom. Pathways that regulate autophagy and their role in mediating tumor response to treatment, Autophagy. 2 (2006) 291-293.
49. H.Kim, M.E.Bernard, J.Flickinger, M.W.Epperly, H.Wang, T.M.Dixon, D.Shields, F.Houghton, X.Zhang, J.S.Greenberger. The autophagy-inducing drug carbamazepine is a radiation protector and mitigator, Int. J Radiat. Biol. 87 (2011) 1052-1060.
50. I.Martins, L.Galluzzi, G.Kroemer. Hormesis, cell death and aging, Aging (Albany, NY). 3 (2011) 821-828.
51. R.S.Balaban, S.Nemoto, T.Finkel. Mitochondria, oxidants, and aging, Cell. 120 (2005) 483-495.
52. R.A.Gottlieb, R.S.Carreira. Autophagy in health and disease. 5. Mitophagy as a way of life, Am. J Physiol Cell Physiol. 299 (2010) C203-C210.
53. R.B.Hamanaka, N.S.Chandel. Mitochondrial reactive oxygen species regulate cellular signaling and dictate biological outcomes, Trends Biochem. Sci. 35 (2010) 505-513.
54. D.Bhattacharjee. Role of radioadaptation on radiation-induced thymic lymphoma in mice, Mutat. Res. 358 (1996) 231-235.
55. G.D.Lundberg. Antioxidant supplements found not to improve human survival, Medscape. J Med. 10 (2008) 222.
56. G.Bjelakovic, D.Nikolova, L.L.Gluud, R.G.Simonetti, C.Gluud. Antioxidant supplements for prevention of mortality in healthy participants and patients with various diseases, Cochrane Database Syst. Rev. (2008) CD007176.
57. G.Bjelakovic, D.Nikolova, R.G.Simonetti, C.Gluud. Antioxidant supplements for preventing gastrointestinal cancers, Cochrane Database Syst. Rev. (2008) CD004183.
58. N.Druesne-Pecollo, P.Latino-Martel, T.Norat, E.Barrandon, S.Bertrais, P.Galan, S.Hercberg. Beta-carotene supplementation and cancer risk: a systematic review and metaanalysis of randomized controlled trials, Int. J Cancer. 127 (2010) 172-184.
59. M.Dewaele, H.Maes, P.Agostinis. ROS-mediated mechanisms of autophagy stimulation and their relevance in cancer therapy, Autophagy. 6 (2010) 838-854.
60. A.S.Monfared, K.Hajian, R.Hosseini, A.Nasir. Association between Local External Gamma Rays and Frequency of Cancer in Babol-Iran, Dose Response. 8 (2010) 368-377.

„Postępy Biochemii” numer specjalny pod redakcją Grzegorza Bartosza. Temat numeru - reaktywne pochodne tlenu, stres oksydacyjny, antyoksydacyjny - część I, 56, Nr 2/2010; część II, 56, Nr 3/2010

REAKTOROWA INSTALACJA NEUTRONOWEGO DOMIESZKOWANIA MONOKRYSTAŁÓW KRZEMU

Janusz Jaroszewicz

Rozwój nowych technologii w elektronice sprzyja coraz większemu zapotrzebowaniu na krzem domieszkowany neutronowo. Dotyczy to zwłaszcza krzemu o oporności właściwej od 15 do 100 Ωcm . Rozwijający się światowy rynek neutronowo domieszkowanego krzemu stabilizuje się obecnie na poziomie 120 ton/rok. Wdrażana w reaktorze MARIA technologia neutronowego domieszkowania monokrystałów krzemu uwzględnia procedurę modyfikacji kryształów krzemu o takich parametrach.

Poddany neutronowej transmutacji krzem wykorzystywany jest w mikroelektronice – dziedzinie elektroniki, która stawia wyjątkowo rygorystyczne wymagania jakościowe. Dynamicznie rozwijają się nowe zastosowania półprzewodników z domieszkowanego neutronowo krzemu, zwłaszcza w przemyśle motoryzacyjnym, kolejnictwie i systemach dystrybucji energii elektrycznej. Zainteresowanie współpracą czołowych producentów materiałów półprzewodnikowych z ośrodkami reaktorowymi, które opanowały technologie neutronowego domieszkowania wynika nie tylko z istotnego wzrostu zapotrzebowania na materiały półprzewodnikowe, ale z faktu zdecydowanie lepszej jakości neutronowego domieszkowania w porównaniu z metodami klasycznymi. Istotnym jest również fakt, że neutronowo domieszkowany krzem, mimo że jest poddawany procedurze wykorzystującej reakcje jądrowe, to już bezpośrednio po zakończeniu tego procesu z racji praktycznie zerowej aktywności nadaje się do dalszej obróbki.

REAKTOR MARIA – PODSTAWOWE NARZĘDZIE NEUTRONOWEJ MODYFIKACJI MATERIAŁÓW

Reaktor badawczy MARIA jako wysokostrumieniowe źródło neutronów wykorzystywane w szerokim

zakresie prac o charakterze naukowo-badawczym ma również istotne znaczenie w rozwoju nowych technologii opartych na możliwościach transformacji materii dzięki reakcji z udziałem neutronów.

W chwili obecnej największy udział w tej sferze działalności ma napromienianie materiałów tarczowych do produkcji wysokoaktywnych izotopów wykorzystywanych głównie w medycynie nuklearnej. Wśród podstawowych materiałów poddawanych procedurze napromieniania znajdują się m.in. TeO_2 , Lu_2O_3 , Yb_2O_3 , S, Cu, Se, SmCl_3 , KCl. Większość z nich przekazywana jest do dalszej obróbki fizyko-chemicznej w Ośrodku Radioizotopów Narodowego Centrum Badań Jądrowych.

Rozszerzając ofertę izotopów dla medycyny opracowano technologię napromieniania źródeł irydowych dla brachyterapii i terapii wewnątrznaczyniowej. Dwustopniowy cykl napromieniania podzielony międzyoperacyjnymi pomiarami aktywności Ir-192 zapewnia dobrą jakość oferowanego produktu, którego odbiorcą jest partner amerykański. Rozpoczęte zostały prace w ramach kolejnego dużego programu, jakim jest opracowanie technologii napromieniania tarczy z niskowzbożanego uranu celem pozyskania izotopu Mo-99 materiału macierzystego do produkcji generatorów technetowych wykorzystywanych w medycynie nuklearnej.

Rozszerzając możliwości wykorzystania reaktora w dziedzinie neutronowej modyfikacji materiałów opracowano nową technologię neutronowego domieszkowania krzemu oraz zbudowano prototyp produkcyjnej instalacji wewnątrzreaktorowej. Uwzględniając uwarunkowania konstrukcyjne oraz specyficzne parametry pola neutronowego reaktora badawczego MARIA nowa technologia umożliwiła bardziej efektywny proces domieszkowania. Punktem wyjścia neutronowego pro-

cesu domieszkowania jest reakcja jądrowa wywołana oddziaływaniem neutronów termicznych, (których źródłem jest reaktor MARIA), z jądrami jednego z izotopów krzemu. Wytworzony w wyniku reakcji stabilny izotop fosforu stanowi domieszkę w sieci krystalicznej krzemu modyfikując monokryształ na półprzewodnik typu „n” o określonej oporności właściwej zależnej od dawki neutronów termicznych.

Cechą wyróżniającą tę technologię jest możliwość domieszkowania kryształów o dużych wymiarach (nawet do 8 cali) przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jednorodności rozkładu wprowadzonych nośników ładunku. Podstawowe parametry charakteryzujące jakość procesu domieszkowania to jednorodność rozkładu wprowadzonych do struktury kryształu domieszek oraz odstępstwo poziomu wprowadzonych domieszek, które określone są opornością kryształu, od poziomu zakładanego przed rozpoczęciem napromieniowania w reaktorze. Prezentowana technologia pozwala na uzyskiwanie odstępstwa od zakładanej oporności < 5% przy zapewnieniu jednorodności domieszkowania < 3%. Analiza rynku materiałów półprzewodnikowych zdefiniowała ekonomicznie uzasadnioną, a niezbędną dla podjęcia produkcji roczną wydajność instalacji oraz akceptowalne parametry jakościowe. Przedsięwzięcie jest prowadzone we współpracy z czołowymi światowymi producentami materiałów półprzewodnikowych z Japonii. Wdrażana w reaktorze MARIA technologia uwzględnia domieszkowanie kryształów o takich parametrach, jakie są akceptowalne dla powyższych zastosowań. Projekt Reaktorowej Instalacji Neutronowego Domieszkowania Monokryształów Krzemu został uhonorowany wyróżnieniem w X edycji Konkursu „Polski Produkt Przyszłości 2006” w kategorii Technologia Przyszłości (Warszawa 2006 r.) oraz Wyróżnieniem Rady Głównej JBR na liście Innowacyjnych Projektów Naukowo-Gospodarczych (Warszawa 2003).

W ramach poszukiwań kolejnych nowych technologii reaktorowych rozpoczęto prace związane z neutronowym domieszkowaniem polikryształów krzemu. Materiał ten w odróżnieniu od domieszkowanego monokryształu wykorzystywanego w mikroelektronice znajduje zastosowanie w budowie ogniw fotowoltaicznych. Tematyka ta prowadzona jest w ramach programu: „Transmutacyjne domieszkowanie krzemu multikryształicznego fosforem w strumieniu neutronów termicznych i jego zastosowanie do wytwarzania ogniw fotowoltaicznych”.

Kolejnym projektem badawczo-wdrożeniowym zrealizowanym w oparciu o możliwości reaktora MARIA doprowadzonym do fazy produkcyjnej jest technologia barwienia minerałów metodą radiacyjną. Technologia obejmuje modyfikację minerałów polegającą na napromienieniu materiału tarczowego w polu strumienia neutronów prędkich w specjalnych kanałach do napromieniowania wyposażonych w ekrany absorbujące neutrony o niskich energiach usytuowanych w obszarze reflektora grafitowego reaktora.

MATERIAŁY PÓŁPRZEWODNIKOWE

Półprzewodnikami określa się izolatory, w których w stanie równowagi termicznej część nośników ładunku uzyskuje swobodę ruchu. Materiały można zasadniczo podzielić ze względu na wartość przewodnictwa właściwego na trzy grupy. Wyróżniamy tu:

- metale $\sigma \geq \sim 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}$,
- półprzewodniki $\sim 10^{-8} (\Omega\text{m})^{-1} \geq \sigma \geq \sim 10^6 (\Omega\text{m})^{-1}$
- izolatory $\sigma \leq \sim 10^{-8} (\Omega\text{m})^{-1}$.

Wartości przewodnictwa właściwego podane dla $T=290^\circ\text{K}$ [1]. Półprzewodniki są to najczęściej substancje krystaliczne, których przewodnictwo właściwe może być zmieniane w szerokim zakresie (np. 10^{-6} do $10^5 \Omega\text{m}$) poprzez domieszkowanie, ogrzewanie, oświetlenie bądź inne czynniki. Przewodnictwo typowego półprzewodnika plasuje się między przewodnictwem metali i dielektryków.

Wartość rezystancji półprzewodnika maleje na ogół ze wzrostem temperatury. Półprzewodniki posiadają pasmo wzbronione między pasmem walencyjnym, a pasmem przewodzenia w zakresie 0-6 eV (np. Ge 0,7eV, Si 1,1 eV, GaAs 1,4). Koncentracje nośników ładunku w półprzewodnikach można zmieniać w bardzo szerokich granicach, zmieniając temperaturę półprzewodnika lub natężenie padającego na niego światła lub nawet przez ściskanie czy rozciąganie. W przemyśle elektronicznym najczęściej stosowanymi materiałami półprzewodnikowymi są pierwiastki grupy IV (np. krzem, german) oraz związki pierwiastków grup III i V (np. arsenek galu, azotek galu lub II i VI (tellurek kadmu). Materiały półprzewodnikowe są wytwarzane w postaci monokryształu, polikryształu lub proszku. Materiały stosowane w przyrządach półprzewodnikowych muszą spełniać określone wymagania odnośnie ich właściwości elektrycznych i strukturalnych, przy czym są to właściwości całkowicie współzależne. Podstawowe warunki, jakim powinna odpowiadać struktura materiału półprzewodnikowego, są następujące:

- budowa monokrystaliczna
- jak najmniejsza liczba defektów
- precyzyjnie kontrolowana koncentracja domieszek w zakresie od 10^{19} m^{-3} .

Podstawowym warunkiem, jaki trzeba spełnić, by możliwe było kontrolowane domieszkowanie materiału półprzewodnikowego na poziomie dolnych wartości koncentracji domieszek (ok. 10^{19} m^{-3}), jest dysponowanie materiałem o koncentracji atomów zanieczyszczeń (domieszek niepożądanych) mniejszej niż 10^{19} m^{-3} . Ponieważ w monokrystalicznym krzemie lub germanie koncentracja atomów wynosi ok. 10^{29} m^{-3} , koncentracja 10^{19} m^{-3} atomów zanieczyszczeń oznacza, że jeden atom pierwiastka obcego przypada na ok. 10 miliardów atomów pierwiastka podstawowego (krzemu lub germanu). Materiał o takim zanieczyszczeniu nazywa się technicznie czystym. W przypadku germanu, w którym koncentracja nośników samoistnych wynosi $2,5 \times 10^{19} \text{ m}^{-3}$, czysty oznacza niemal to samo, co samoistny. Natomiast w krzemie koncentracja nośników samoistnych jest 1000 razy mniejsza niż w germanie, dlatego krzem czysty w sensie technicznym nie jest materiałem samoistnym (krzem czysty technicznie ma rezystywność około kilku Ωm , podczas gdy samoistny $2 \times 10^3 \Omega\text{m}$). Obecny stan technologii półprzewodnikowej nie pozwala na otrzymanie krzemu samoistnego, choć czystość materiałów stosowanych w przemyśle półprzewodnikowym jest nieporównywalnie większa niż w jakiegokolwiek innej dziedzinie techniki.

Krzem jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych pierwiastków; występuje w ilości ok. 28% w skorupie ziemskiej w postaci utlenionej jako składnik pospolitego piasku i skał (krzemionka). Mimo powszechnej dostępności surowca wyjściowego krzem czysty jest materiałem drogim ze względu na koszt złożonego procesu oczyszczania. Oczyszczanie chemiczne (reakcja redukcji z węglem w wysokiej temperaturze) umożliwia otrzymanie materiału o zawartości ok. 99,9% krzemu. Ten materiał jest poddawany procesowi oczyszczania strefowego.

Materiałem wyjściowym do procesu domieszkowania jest jak wspomniano materiał polikrystaliczny w postaci pręta przesuwa się powoli w piecu (w atmosferze gazu obojętnego (helu lub argonu), aby uniknąć utleniania się krzemu). Wskutek lokalnego grzania indukcyjnego na krótkim odcinku pręta jest uzyskiwana temperatura wyższa od punktu topnienia krzemu. W ten sposób powstaje lokalna strefa roztopionego materiału, który nie wycieka dzięki działaniu sił napięcia

powierzchniowego. Ruch pręta w piecu lub ruch zwojnicy grzejnej względem pręta powoduje przesuwanie się strefy roztopionego materiału. W strefie ciekłej gromadzą się zanieczyszczenia z uwagi na ich większą rozpuszczalność w porównaniu ze strefą stałą. Po kilku przejściach strefy ciekłej wzdłuż pręta zanieczyszczenia zostają zebrane na jednym końcu pręta. Ten koniec pręta jest następnie odcinany i poddawany powtórnie oczyszczaniu chemicznemu, pozostałą natomiast część pręta można uznać za technicznie czysty krzem o budowie polikrystalicznej.

Zadaniem kolejnego procesu technologicznego jest otrzymanie krzemu monokrystalicznego. Najczęściej monokryształy krzemu lub germanu są wytwarzane metodą wyciągania fazy ciekłej, znaną szeroko jako metoda Czochralskiego.

W tyglu grafitowym lub kwarcowym umieszcza się czysty krzem (german) polikrystaliczny i roztopia go za pomocą nagrzewania indukcyjnego w polu elektrycznym wielkiej częstotliwości (temperatura topnienia krzemu wynosi 1420°C). Do roztopionego materiału zanurza się zarodek kryształu o precyzyjnie ustalonej orientacji sieci krystalicznej. Na powierzchni styku zarodka kryształu z roztopionym materiałem temperatura obniża się o jeden lub dwa stopnie poniżej temperatury topnienia, wskutek czego następuje krystalizacja, tj. atomy poruszające się bezładnie w fazie ciekłej "przyklejają się" w odpowiednich miejscach do powierzchni zarodka krystalizacji. Narastająca warstwa ciała stałego zachowuje dokładnie ciągłość budowy krystalicznej z zarodkiem, przy czym temperatura fazy ciekłej powinna być utrzymywana na poziomie o kilka stopni wyższym niż temperatura topnienia. Przez powolne podnoszenie zarodka (kilka do kilkudziesięciu milimetrów na godzinę) umożliwia się narastanie kolejnych warstw kryształu, w efekcie powstaje pręt monokrystaliczny. Dla zapewnienia jednorodnej budowy kryształu zarodek wraz z wyciąganym prętem obraca się z częstością kilkunastu obrotów na minutę. Zwykle powierzchnia zarodka ma orientację krystalograficzną $\{111\}$, charakteryzującą się największą gęstością powierzchniową atomów, co sprzyja narastaniu kryształu o małej liczbie defektów. Typowy pręt krzemu monokrystalicznego uzyskiwany metodą Czochralskiego ma średnicę ok. 5 lub 7,5 cm i długość kilkudziesięciu centymetrów. Wytwarzane są także pręty o średnicach większych nawet do 15 cm. Opisana metoda wyciągania z fazy ciekłej dotyczy zarówno krzemu i germanu, jak również – z pewnymi modyfikacjami – arsenku galu. Warto wspomnieć, że oprócz metody Czochralskiego jest

znanych kilka innych metod hodowania monokryształów, między innymi metody beztyglowe (bez niepożądanych zanieczyszczeń). Jest to o tyle interesujące rozwiązanie ponieważ tygiel zawsze dostarcza niepożądanych zanieczyszczeń.

Domieszkowanie kryształów krzemu

Jedną z najciekawszych cech materiałów półprzewodnikowych jest silny wpływ domieszek na ich własności elektryczne. Domieszki są tak naprawdę defektami punktowymi (a dokładniej, defekt nosi miano domieszki podstawieniowej tj. obcy atom zajmuje w sieci krystalicznej miejsce atomu kryształu macierzystego), czyli jest zaburzeniem sieci w obrębie jednego atomu. Półprzewodnik zawierający domieszki podstawieniowe nazywamy półprzewodnikiem domieszkowym. W większości przypadków idealny kryształ półprzewodnikowy (bez defektów) nie nadaje się do żadnych zastosowań w elektronice klasycznej. Domieszki podstawieniowe możemy podzielić na trzy grupy [2]:

- **donorowe:** atom o większej liczbie elektronów walencyjnych, zastępuje atom sieci macierzystej; poziomy donorowe: przewodnictwo elektronowe np. Si+ atomy V grupy np.: P;
- **akceptorowe:** atom o mniejszej liczbie elektronów walencyjnych zastępuje atom sieci macierzystej; poziomy akceptorowe – przewodnictwo dziurawe np. Si+ atomy III grupy np.: B;
- **domieszka izowalencyjna:** atom innego pierwiastka o tej samej walencyjności zastępuje atom sieci macierzystej.

Domieszki donorowe i akceptorowe mają przede wszystkim istotny wpływ na własności elektryczne materiałów półprzewodnikowych. Pozwalają one na otrzymanie dodatnich i ujemnych nośników ładunku o żądanej koncentracji.

Domieszkowanie tj. wprowadzenie domieszek do półprzewodnika, nadające materiałowi podstawowemu określony typ półprzewodnictwa odbywa się tradycyjnie poprzez dyfuzyjne wprowadzenie materiałów domieszkowych do już otrzymanych monokryształów. Płytki wykonane z krzemu o bardzo wysokiej czystości pokrywane są warstwą maskującą, w której wykonywane są otwory o bardzo nieraz złożonych kształtach. Przez te otwory wprowadzane są substancje domieszkowe, które dyfundując w głąb płytki krzemu wytwarzają obszary charakteryzujące się półprzewodnictwem typu n lub p, tworząc złącza o bardzo małych

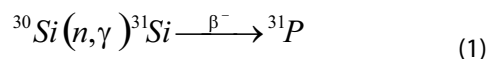
wymiarach. Domieszkowanie przez dyfuzję jest zwykle przeprowadzane poprzez umieszczenie wafla krzemowych w wysokotemperaturowych kwarcowych tubach i przepuszczanie nad nimi mieszaniny gazów zawierającą potrzebną domieszkę. Temperatura procesu wynosi od 800°C do 1200°C dla krzemu i od 600°C do 1000°C dla arsenku galu. Liczba wprowadzanych do półprzewodnika domieszek zależy od ciśnienia cząstkowego domieszek w gazie, temperatury procesu i czasu jego trwania. Dla półprzewodnika krzemowego bor jest najczęściej stosowaną domieszką typu p, natomiast arsen i fosfor domieszkami typu n. Dyfuzja w półprzewodniku jest rozumiana jako ruch atomów domieszek w krystalicznej sieci w ubytkach lub poza węzłami sieci. Zwykle atomy domieszek są mniejsze niż atomy półprzewodnika, więc poruszają się poza węzłami sieci.

Oprócz metody dyfuzyjnej w klasycznych sposobach domieszkowania półprzewodników stosowana jest tzw. epitaksja. Jest to wytwarzanie cienkiej warstwy półprzewodnika monokrystalicznego na podłożu monokrystalicznym z zachowaniem budowy krystalicznej. Epitaksja służy do wytwarzania tzw. waflów zbudowanych z czystych półprzewodników ważnych z punktu widzenia technologii i elektroniki (tj. arsenek galu GaAs, azotek galu GaN, fosforek galu GaP). Metoda ta sprawdza się także w ich domieszkowaniu. Gdy warstwa epitaksjalna i podłoże stanowią dokładnie taki sam materiał to proces epitaksji nazywamy homoepitaksją. Gdy warstwa epitaksjalna różni się od podłoża w jakikolwiek sposób to proces ten nazywamy heteroepitaksją.

Implantacja jonowa jest procesem wprowadzania rozprzeczonych w polu elektrycznym jonów domieszki. Typowe energie implantacji wynoszą od 1keV do 1,5MeV dając w efekcie obszary domieszkowane o głębokości od 10nm do 10μm. Ilość wprowadzanych domieszek waha się od 10¹² / cm² do 10¹⁸ / cm².

Neutronowe domieszkowanie krzemu

Podstawą fizyczną procesu neutronowego domieszkowania krzemu jest reakcja wychwytu promieniotwórczego neutronów termicznych przez jeden z izotopów krzemu [3]:



Powstający stabilny izotop ³¹P stanowi domieszkę typu n w krzemie. O własnościach półprzewodnikowych krzemu (oporności właściwej) decyduje poziom domieszkowania fosforem, czyli koncentracja ³¹P.

Ta z kolei wielkość zależy od fluencji (dawki) neutronów termicznych, którą otrzymał krzem napromieniony w reaktorze.

Przewodność właściwa (odwrotność oporności właściwej ρ) krzemu jest sumą przewodności elektronowej i dziurowej:

$$\frac{1}{\rho} = ne\mu_e + pe\mu_p \quad (2)$$

gdzie: e jest ładunkiem elementarnym elektronu, n i p są gęstościami elektronów i dziur natomiast μ_e i μ_p – ruchliwością elektronów i dziur. W dalszej analizie będziemy przyjmować, że ruchliwości są stałymi i wynoszą dla krzemu: $\mu_e = 1410 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ oraz $\mu_p = 470 \text{ cm}^2/\text{Vs}$. Zakładając, że elektrycznie aktywnymi domieszkami są bor (B) jako akceptor oraz fosfor (P) jako donator, bardzo dobrym przybliżeniem na gęstości nośników jest:

$$n = \frac{\sqrt{(N_P - N_B)^2 + 4n_i^2} + (N_P - N_B)}{2}$$

$$pn = n_i^2 \quad (3)$$

gdzie N_P i N_B są gęstościami fosforu i boru natomiast n_i jest gęstością nośników samoistnych, silnie zależną od temperatury półprzewodnika. Dla krzemu w temperaturze 300 K przyjmuje się $n_i = 1.5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$. Ze wzorów (3) wynika:

$$p = \frac{\sqrt{(N_P - N_B)^2 + 4n_i^2} - (N_P - N_B)}{2} \quad (4)$$

Można łatwo pokazać, że dla półprzewodnika donorowego (typu n) zachodzi zależność:

$$N_P - N_B = \frac{1}{\rho e \mu_e} - \rho (\mu_e + \mu_p) n_i^2 e \quad (5)$$

natomiast dla półprzewodnika akceptorowego (typu p):

$$N_P - N_B = -\frac{1}{\rho e \mu_p} + \rho (\mu_e + \mu_p) n_i^2 e \quad (6)$$

Materiał wyjściowy do domieszkowania charakteryzuje się określoną opornością właściwą ρ_{in} oraz typem przewodnictwa (n lub p). Po procesie domieszkowania neutronowego, w którym na skutek reakcji jądrowych wzrasta gęstość fosforu, uzyskuje się krzem donorowy (typu n) o oporności właściwej ρ_{out} . Ze wzorów (5) i (6) można wyznaczyć gęstość fosforu-31 uzyskanego na drodze domieszkowania neutronowego N_{NTD} jako funkcję oporności początkowej ρ_{in} i końcowej ρ_{out} oraz wyjściowego typu przewodnictwa:

$$N_{NTD} = \frac{1}{\rho_{out} e \mu_e} - \frac{1}{\rho_{in} e \mu_e} - (\rho_{out} - \rho_{in}) (\mu_e + \mu_p) n_i^2 e \approx \frac{1}{\rho_{out} e \mu_e} - \frac{1}{\rho_{in} e \mu_e} \quad (7)$$

dla krzemu typu n (donorowego) oraz:

$$N_{NTD} = \frac{1}{\rho_{out} e \mu_e} + \frac{1}{\rho_{in} e \mu_p} - (\rho_{out} + \rho_{in}) (\mu_e + \mu_p) n_i^2 e \approx \frac{1}{\rho_{out} e \mu_e} + \frac{1}{\rho_{in} e \mu_p} \quad (8)$$

dla krzemu o początkowym przewodnictwie typu p (akceptorowym).

Koncentrację NNTD fosforu-31 w krzemie, będącą wynikiem napromieniania neutronami termicznymi, określa się za pomocą wzoru:

$$N_{NTD} = N \sigma \int \phi dt \quad (2)$$

gdzie: N – gęstość jądrowa ^{30}Si , σ – mikroskopowy przekrój czynny na reakcję (1), $\int \phi dt$ – fluencja neutronów (całka z gęstości strumienia neutronów po czasie).

Podstawowym parametrem elektrycznym, charakteryzującym domieszkowany krzem, jest jego oporność właściwa ρ :

$$\rho = (C \mu \varepsilon)^{-1} \quad (3)$$

gdzie: C – koncentracja fosforu, μ – ruchliwość elektronów przewodnictwa, ε – ładunek elementarny elektronu.

Łącząc zależności (3) i (4) oraz podstawiając odpowiednie parametry i stałe fizyczne uzyskuje się następującą zależność, wiążącą wymaganą fluencję F neutronów termicznych w krzemie (wyrażoną w $[\text{n/cm}^2]$) z wyjściową i końcową opornością właściwą (w $[\Omega\text{cm}]$):

$$F = \int \phi dt = 2.63 \cdot 10^{19} (1/\rho_{out} - 1/\rho_{in}) \quad (5)$$

W przypadku, gdy wyjściowy materiał wykazuje półprzewodnictwo typu p, we wzorze (5) należy zmienić znak (–) na (+).

REAKTOROWA INSTALACJA NEUTRONOWEGO DOMIESZKOWANIA KRYSTAŁÓW KRZEMU

Powyżej przedstawione zostały fizyczne podstawy neutronowej technologii domieszkowania monokryształów krzemu. Technologia ta oparta na reakcji jądrowej (1) wywołanej oddziaływaniem reaktorowych neutronów termicznych z jądrami jednego ze stabilnych izotopów krzemu ^{30}Si czyli w uproszczonym zapisie: $^{30}\text{Si} (n, \beta) ^{31}\text{P}$.

Wytworzony w wyniku reakcji stabilny izotop fosforu stanowi domieszkę w sieci krystalicznej krzemu modyfikując monokryształ na półprzewodnik typu „n” o określonej oporności właściwej zależnej od fluencji neutronów termicznych. Wielkość tą wyznaczają dwa

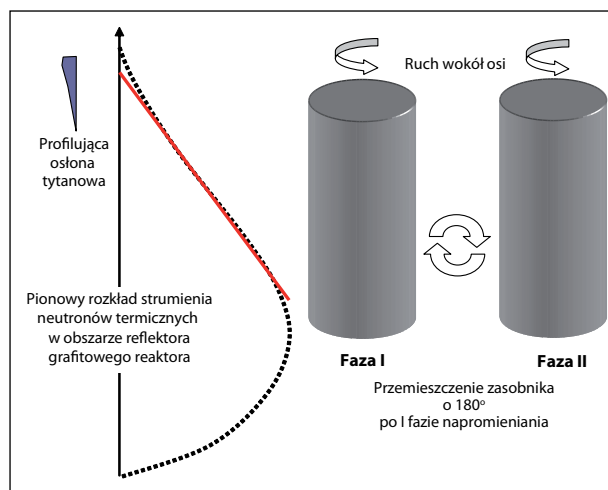
parametry eksploatacyjne pracującego reaktora: gęstość strumienia neutronów oraz czas napromieniania. Zmieniając te parametry mamy bezpośrednią możliwość kształtowania zakładanej oporności końcowej poddanego procedurze domieszkowania kryształu krzemu. W praktyce napromieniając kryształy w specjalnym kanale reaktora MARIA przez czas od kilku do kilkudziesięciu godzin otrzymujemy poziom domieszkowania kryształów określony opornością od 20 do 100 Ωcm

Neutronowe domieszkowanie monokryształów krzemu posiada niewątpliwe zalety w porównaniu z „klasyczną” technologią domieszkowania opartą na metodach dyfuzji. Uzyskane parametry jednorodności domieszek i przewidywalności uzyskanych parametrów są kilkukrotnie lepsze niż ma to miejsce w technologii dyfuzyjnej. Dlatego, przy gwałtownym rozwoju produkcji elementów półprzewodnikowych zapotrzebowanie na krzem domieszkowany neutronowo w reaktorach systematycznie wzrasta. Proces domieszkowania możliwy jest do prowadzenia tylko w reaktorach badawczych, co zważywszy na fakt wycofywania z eksploatacji znacznej liczby „starych” reaktorów badawczych zwłaszcza w Europie Zachodniej, przy jednoczesnej perspektywie eksploatacji reaktora MARIA, co najmniej do 2025 r. stanowi dodatkowy atut niniejszego przedsięwzięcia.

Koncepcja neutronowego domieszkowania krzemu w reaktorze MARIA

Reaktorowe stanowisko neutronowo domieszkowanego krzemu jest oryginalnym rozwiązaniem charakterystycznym dla danego reaktora [4]. Reaktor MARIA nie ma w zasadzie bezpośrednich odpowiedników wśród pracujących obecnie reaktorów badawczych stąd dość trudno porównywać proponowane w projekcie rozwiązania techniczne z rozwiązaniami zastosowanymi w innych obiektach zarówno w Europie jak i na świecie.

To, co w sposób najbardziej widoczny odróżnia przyjętą technologię od rozwiązań zastosowanych w innych ośrodkach to sposób osiągania optymalnej jednorodności wprowadzanych w trakcie neutronowego napromieniania domieszek. Schematycznie zasadę neutronowego domieszkowania, jaka została praktycznie wdrożona w skonstruowanej i zainstalowanej w reaktorze MARIA instalacji produkcyjnej przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Schemat technologii napromieniania kryształów krzemu na stanowisku neutronowego domieszkowania w reaktorze badawczym MARIA (czerwona linia przedstawia prostoliniową część charakterystyki wykorzystywaną w procesie napromieniania)

Napromieniany kryształ krzemu umieszczony w specjalnym zasobniku aluminiowym jest wprowadzony do pionowego kanału w rdzeniu reaktora i obracany przy wykorzystaniu napędu pneumatycznego względem osi kanału do napromieniania. Ruch ten zapewnia optymalny rozkład promieniowy wprowadzanych domieszek. Jednorodność osiową zapewnia natomiast dwupozycyjny cykl napromieniania. Kryształ po otrzymaniu połowy przewidzianej dawki tj. fluencji neutronów zostaje przemieszczony do specjalnej obrotnicy poza strefą aktywną rdzenia reaktora i tam obrócony o 180°. Po tej operacji kryształ powraca na drugą fazę cyklu napromieniania do kanału do napromieniania w reaktorze. W celu poprawienia liniowości rozkładu osiowego dodatkowo w górnej części instalacji wprowadzono ekran tytanowy o zmiennej grubości modyfikujący rozkład strumienia neutronów. Przyjęte rozwiązania techniczne z jednej strony wykorzystują specyficzną charakterystykę fizyczną reaktora konkretnie liniowy odcinek pionowego rozkładu gęstości strumienia neutronów, z drugiej strony dwufazowe napromienianie eliminuje ograniczenia, jakie narzuca specyficzna konstrukcja reaktora MARIA. Efektem tego innowacyjnego rozwiązania są rezultaty napromieniania. Przykładowo dla podstawowego materiału wyjściowego, jakim są monokryształy typu FZ (*Floating Zone Method*) tolerancja domieszkowania w technologii neutronowej akceptowana przez większość odbiorców wynosi: 5% (osiowa), 3% (radialna). Wyniki uzyskane na reaktorowym stanowisku eksperymentalnym w reaktorze MARIA dzięki zastosowanej nowej technologii dały odpowiednio odstępstwa od żądanej wartości: 3,4 %

i 2,1 % (uśrednione dane dla kilku cykli napromieniowań testowych przeprowadzonych w fazie eksperymentów).

Konstrukcja reaktorowego stanowiska neutronowego domieszkowania krzemu

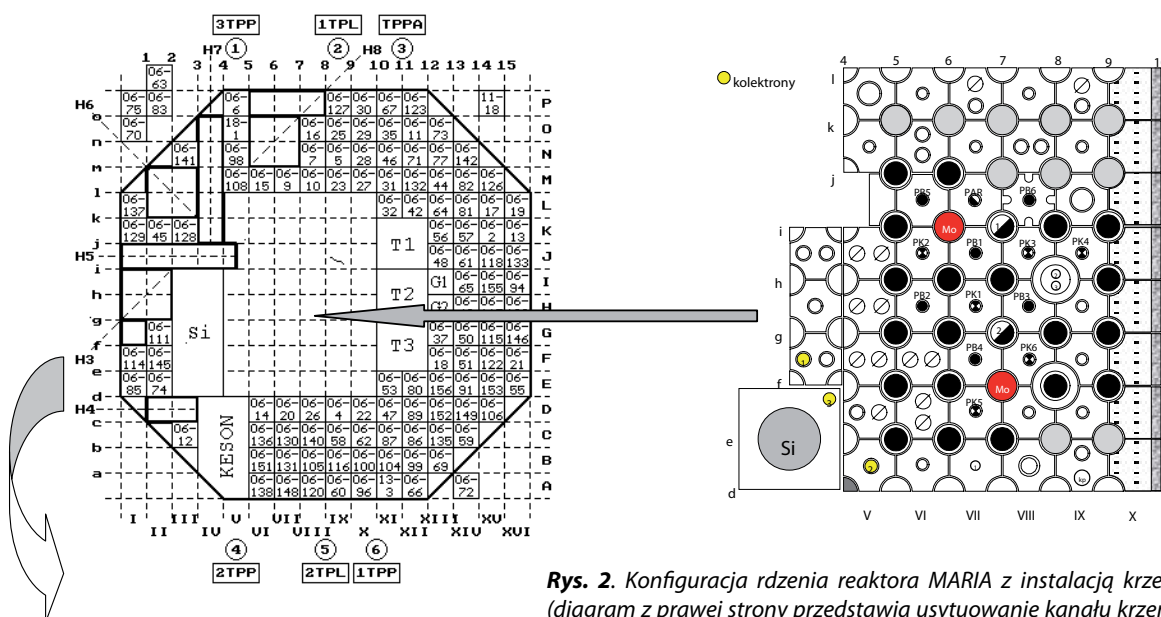
Realizacja projektu prowadzona była w kilku etapach: od prac koncepcyjnych wspartych intensywnym programem analityczno-pomiarowym poprzez budowę reaktorowej instalacji eksperymentalnej dla przeprowadzenia cyklu napromieniowań testowych do projektu i budowy modelu docelowej instalacji produkcyjnej. Pilotażowa instalacja eksperymentalna jest stanowiskiem, na którym sprawdzono nową koncepcję domieszkowania neutronowego krzemu. Wyniki tego etapu prac stanowiły punkt wyjścia do projektu technicznego i budowy wielokanałowego stanowiska reaktorowego. Powstanie instalacji docelowej – tj. stanowiska reaktorowego – poprzedzone zostało budową stanowiska modelowego dla przeprowadzenia prób zimnych i weryfikacji przyjętych rozwiązań projektowych (zob. fot. 4). Elementy przygotowane dla stanowiska modelowego w myśl przyjętych założeń znalazły pełne zastosowanie w instalacji reaktorowej. Instalacja ta zwana stanowiskiem modelowym wykonana została w sposób umożliwiający zainstalowanie jej bezpośrednio w basenie reaktora. Zrealizowany przy wykorzystaniu tej instalacji program testów i prób stanowił podstawę do stwierdzenia, że instalacja w swojej wersji produkcyjnej nie tylko spełnia wymogi jakościowe procesu domieszkowania przyjęte w założeniach wdrażanej technologii, ale jednocześnie daje podstawę do wy-



Fot. 1. Monokryształy krzemu przygotowane do procesu neutronowego domieszkowania (NTD – Neutron Transmutation Doping); średnica: 5 i 6 cali / wysokość 250 mm / ładunek w kanale do napromieniania: 500 mm

stąpienia o zgodę do dozoru jądrowego na instalację produkcyjnego stanowiska w strefie aktywnej obiektu jądrowego, jakim jest reaktor MARIA. Podstawowe etapy realizacji przedsięwzięcia przedstawione są poniżej:

Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom partnerów przedsięwzięcia, którymi są czołowe firmy japońskie – dostawcy monokryształów krzemu, a zarazem odbiorcy produktu finalnego, którym jest neutronowo domieszkowany krzem, dostosowano jednokanałową instalację eksperymentalną do ograniczonej produkcji na poziomie 100-200 kg miesięcznie. Stąd pełne uruchomienie przewidzianej w projekcie 3-kanałowej produkcyjnej instalacji reaktorowej, co stanowić będzie pełne wdrożenie projektu, które prowadzone będzie równolegle ze wspomnianą powyżej ograniczoną działalnością produkcyjną.



Rys. 2. Konfiguracja rdzenia reaktora MARIA z instalacją krzemową (diagram z prawej strony przedstawia usytuowanie kanału krzemowego względem matrycy berylowej reaktora)

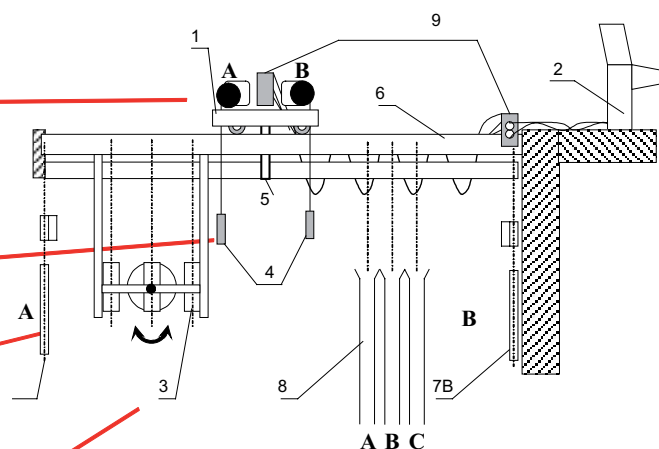
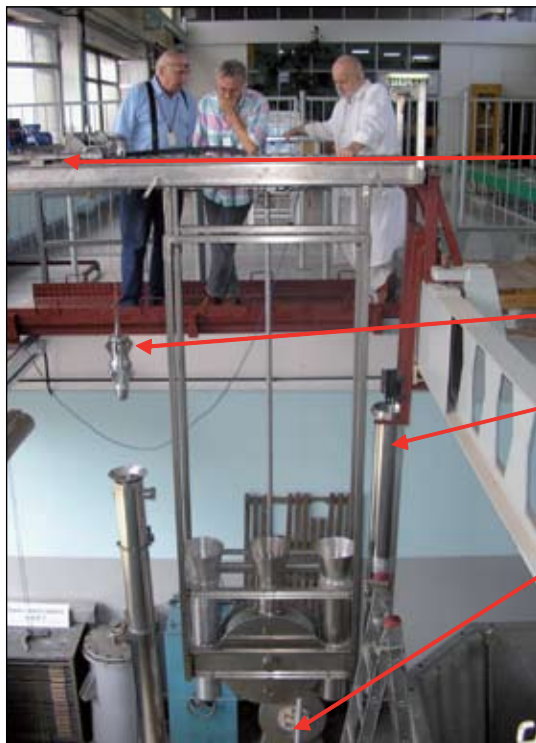
Proces neutronowego domieszkowania krzemu prowadzony jest w specjalnie przygotowanym i oprzyrządzonym kanale do napromieniania zlokalizowanym w obszarze reflektora graficznego reaktora MARIA. O wyborze lokalizacji instalacji do napromieniania w reaktorze zdecydowały: analiza parametrów pola neutronowego oraz uwarunkowania konstrukcyjne reaktora. Optymalne warunki przeprowadzenia procesu domieszkowania określiły: gęstość strumienia neutronów termicznych rzędu 10^{13} [n/cm² s], dobrze stermalizowane widmo w obszarze reflektora grafitowego oraz stosunkowo niski poziom promieniowania *gamma*. Optymalizacja parametrów pola neutronowego i pola promieniowania *gamma* ma istotny wpływ na potencjalne uszkodzenia radiacyjnie napromienianych kryształów krzemu i w efekcie na jakość końcowego produktu.

Przedstawione na rys. 2 konfiguracje rdzenia reaktora MARIA pokazują usytuowanie instalacji testowej w pozycji E-III, E-IV, F-III, F-IV w matrycy grafitowej rdzenia (schemat góra z prawej), konfigurację rdzenia wraz z blokami reflektora grafitowego w docelowej lokalizacji produkcyjnego 3-kanalowego stanowiska krzemowego (góra z lewej).

Stanowisko produkcyjne to konstrukcja złożona z 15 podstawowych zespołów i układów. Wśród nich znajduje się: wciągarka, most ruchomy, obrotnica, zestaw chwytaków elektromagnetycznych do przemieszczania zasobników z krzemem, podwodne magazyny itp. Zespoły te znajdują się na różnych poziomach basenu reaktora co stwarza dodatkowe ograniczenia konstrukcyjne, które musiały być rozwiązane na etapie projektu koncepcyjnego i technicznego.



Fot. 2. Widok instalacji krzemowej na pozareaktorowym stanowisku modelowym



- 1 - wózek transportowy przemieszczający się po torowisku mostu (5)
- 2 - pulpit sterowniczy
- 3 - obrotnica zasobników z krzemem
- 4 - elektromagnetyczny chwytak zasobnika
- 7 - rury magazynowe
- 8 - kanały do napromieniania krzemu wraz z układem napędowym obrotu (docelowy układ 3-kanalowy: A, B, C)

Rys. 3. Schemat ideowy 3-kanalowego stanowiska do neutronowego domieszkowania oraz stanowisko modelowe podczas prób pozareaktorowych (z archiwum NCBJ)

Pojedynczy kanał krzemowy w postaci aluminiowej rury umieszczony jest w koszu z blachy aluminiowej gabarytowo równoważnym czterem typowym blokom reflektora grafitowego reaktora (rys. 2).

Napromienianie odbywa się w kanale wypełnionym wodą z basenu reaktora. Pierwsze eksperymenty potwierdziły praktycznie zasadność przyjętych założeń i późniejszych rozwiązań konstrukcyjnych w tym zwłaszcza sposobu osiągnięcia jednorodności napromieniania.

Problem radialnej jednorodności domieszkowania został rozwiązany poprzez rotację zasobników z krzemem wokół osi kanału do napromieniania. W instalacji eksperymentalnej zrealizowane to zostało za pomocą napędu elektryczno-mechanicznego. Moment obrotowy przenoszony jest poprzez przekładnię ślimakową i ciągła połączone sprzęgłem Cardana. W rozwiązaniu docelowym napęd powodujący obrót zasobnika z krzemem zrealizowany został w oparciu o koncepcję napędu pneumatycznego. Współpracujący z układami mechanicznymi system kontroli monitorujący poprawność działania instalacji, w tym przede wszystkim kontroli poziomu osiągniętej fluencji neutronów termicznych, działa w oparciu o sygnały z detektorów samozasilających (kolektrony) z emiterem wanadowym (SPND).

Powstała instalacja do napromieniania krzemu stanowi bardzo użyteczne narzędzie służące do modyfikacji materiałów metodą napromieniowywania ich w polu promieniowania neutronowego. Oczekiwane fluencje neutronów termicznych warunkujące osiągnięcie wymaganych koncentracji domieszek w napromienianych kryształach w optymalnym czasie pozwala na usytuowanie instalacji w peryferyjnej, nie wykorzystywanej dla innych celów strefie rdzenia reaktora MARIA. Wybór miejsca w reflektorze grafitowym dla instalacji bloku do napromieniowania i rozwiązania przewidziane w projekcie sprawiają, że stanowisko neutronowego domieszkowania charakteryzuje się dużą elastycznością eksploatacyjną. Przyjęte rozwiązania sprawiają, że nie powodując znacznych modyfikacji konstrukcyjnych część rdzeniowa instalacji może być adaptowana dla domieszkowania kryształów o średnicach do 8 cali, co przy obecnym standardzie 5-6 cala stanowi dość interesującą perspektywę. Zbudowana instalacja w pełni wykorzystuje konstrukcję reaktora MARIA oraz jego parametry fizyczne, co w konsekwencji daje możliwości domieszkowania metodą NTD (*Neutron Transmutation Doping*) kryształów krzemu o różnych średnicach i kryształów o różnym docelowym poziomie domieszkowania.

Przeprowadzone analizy i eksperymenty wykazały, że wewnątrzrdzeniowe elementy instalacji krzemowej nie wprowadziły istotnych zmian reaktywnościowych mogących wpływać na efektywną i bezpieczną pracę reaktora. Podobnie sytuacja dotyczy materiału tarczowego. Mały przekrój czynny na absorbcję neutronów termicznych, jakim charakteryzuje się krzem Si-30 sprawia, że wpływ na bilans reaktywności reaktora jest praktycznie pomijalny. Procedura neutronowego domieszkowania krzemu w istocie wykorzystuje strumień termiczny neutronów ucieczki, co w praktyce skutkuje niewielkim wpływem na zwiększone wykorzystanie paliwa jądrowego podczas eksploatacji reaktora, a tym samym nie ma zasadniczego wpływu na efekty ekonomiczne zrealizowanego przedsięwzięcia.

Znaczący wzrost zapotrzebowania na modyfikowane neutronowo materiały w przemyśle elektronicznym, przy tym intensywny rozwój technologii wytwarzania monokryształów krzemu o wysokiej czystości przy jednoczesnym zwiększaniu gabarytów produkowanych próbek z 2-3 cali przed kilku laty do 6-8 cali w chwili obecnej jest dostateczną przesłanką wspierającą zasadność podejmowanego projektu. Dysponując wydajnym źródłem neutronów termicznych, jakim jest reaktor badawczy MARIA oraz instalacją produkcyjną wydaje się, że pozycja naszego Ośrodka w zakresie neutronowego domieszkowania może sukcesywnie wzrastać. Wspomnieć należy również o dość istotnym fakcie, jakim jest starzenie się reaktorów badawczych. Przyjmując, że liczba dostępnych dla wspomnianych celów reaktorów badawczych na świecie zaczyna w sposób naturalny zmniejszać się, czego przykładem mogą być wyłączone z eksploatacji prawie 50-letnie reaktory DIDO i PLUTO w Harwell, Wielka Brytania, czy reaktor w Studsvik w Szwecji, w których to reaktorach produkowano neutronowo domieszkowany krzem, pozycja reaktora MARIA wzmacnia się. Pozostałe znaczące reaktory badawcze w Europie jak np. BR-2 (Belgia), HFR (Holandia), OSIRIS (Francja), w których prowadzone są programy neutronowego domieszkowania są reaktorami eksploatowanymi od lat 60-tych XX wieku, a ponadto mają w swoich programach szereg innych zadań od badań materiałowych, eksperymentów pętlowych po produkcję radioizotopów dla medycyny. Dodatkowo należy wspomnieć, że potencjalni konkurenci reaktora MARIA w zakresie neutronowego domieszkowania znajdują się w tej chwili w pozaeuropejskich centrach badawczych: reaktor OPAL w Australii, reaktor SAFARI-1 w Południowej Afryce, czy reaktor HANARO w Republice Korei.

Zdolności produkcyjne instalacji i dalsze możliwości wykorzystania

Tak jak już wspomniano wcześniej na stanowisku możliwe jest napromienianie kryształów o różnych średnicach w tym planowanych przez japońskiego dostawcę materiału tarczowego monokryształów 8 calowych, co stanie się wkrótce standardem dla domieszkowanych kryształów. Instalacja zapewnia możliwość domieszkowania monokryształów krzemu na półprzewodnik typu „n” przy tym wyjściowym materiałem tarczowym może być zarówno krzem o wyjściowym typie domieszkowania „n” oraz „p”. W napromieniowaniach testowych poddano domieszkowaniu monokryształy krzemu o średnicach 5 i 6 cali o opornościach docelowych: 22, 24, 30, 45, 60 i 80 Ωcm . Analiza wydajności jednego z trzech kanałów instalacji przy domieszkowaniu kryształów o średnicy 5 cali i oporności końcowej 60 Ωcm wynosi 2000 kg/rok, dla kryształów 6 calowych: 2900 kg/rok. Wydajność odniesiona jest do efektywnego rocznego czasu pracy instalacji 2800 godz. Jest to szacunek zaniżony, bowiem założone zostało 80% wykorzystanie rocznego czasu pracy reaktora MARIA.

Dodatkowo pracująca instalacja krzemowa umożliwia napromienianie krzemu dla całkowicie innych zastosowań. Rozpoczęte są prace z neutronowym domieszkowaniem polikryształów krzemu. Materiał ten jest przeznaczony do budowy ogniw fotowoltaicznych. Dziedziny równie szybko rozwijającej się jak zastosowania monokryształów neutronowo domieszkowanych w mikroelektronice.

Sygnały pojawiając się z ośrodków zajmujących się wytwarzaniem ogniw słonecznych potwierdzają istotny wzrost zainteresowania krzemem typu „n” dla tej sfery działalności badawczo-produkcyjnej. Stwierdzone zostało, że ogniwa fotowoltaiczne wytwarzane na krzemie typu „n” osiągają sprawności zbliżone do sprawności ogniw budowanych dotychczas z materiału typu „p”. Istotnym jest przy tym to, że proces transmutacji neutronowej dla powyższych celów może być przeprowadzany z materiałem tarczowym niższej jakości, a więc tańszym. Jest nim krzem multikrystaliczny. Równocześnie parametry jakościowe modyfikowanego materiału

są na znacznie mniej rygorystycznym poziomie. Technologiemi wytwarzania taniego krzemu na potrzeby energetyki słonecznej (*solar grade silicon*) zainteresowano się szerzej, gdy dotychczasowe źródło krzemu do wytwarzania ogniw słonecznych – odpady z procesów krystalizacji krzemu dla mikroelektroniki, okazało się niewystarczające. Krzem typu *solar grade*, wytwarzany specjalnie na potrzeby konwersji energii słonecznej, zdobył popularność na rynku dzięki znaczącej redukcji kosztów produkcji, co nastąpiło pod wpływem uproszczenia metod oczyszczania surowca oraz zastosowania tańszych metod krystalizacji.

Fakt powstania i włączenia do eksploatacji w reaktorze MARIA instalacji do przemysłowej technologii neutronowego domieszkowania krzemu (NTD) może stanowić inspirację dla laboratoriów krajowych i instytucji zajmujących się lub planujących działalność w dziedzinie produkcji materiału tarczowego (mono i polikryształy krzemu) zarówno dla potrzeb mikroelektroniki jak i ogniw fotowoltaicznych.

*mgr inż. Janusz Jaroszewicz,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk*

Literatura

1. J. Mostowicz. *Domieszkowanie półprzewodników*, Fizyka komputerowa, rok 4, 2007;
2. C. Kittel. *Wstęp do fizyki ciała stałego*, PWN Warszawa, 1976;
3. *Silicon Transmutation Doping and Practices Proceedings of Consultants Meeting organized by the IAEA and held in Otwock-Świerk, Poland, IAEA-TECDOC-456, Vienna 1988*
4. J. Jaroszewicz, K. Pytel, L. Dąbkowski, K. Grotthuss. *Reaktorowa Instalacja Neutronowego Domieszkowania Monokryształów Krzemu*. Projekt uhonorowany wyróżnieniem w kategorii „Technologia Przyszłości” X edycji konkursu „Polski Produkt Przyszłości organizowanej przez Polską Agencję Rozwoju Przedsiębiorczości, 2007

RAPORT Z EKSPLOATACJI REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2011 ROKU

Andrzej Gołąb

Wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych^{*)} w Świerku, wykorzystywany jest do produkcji izotopów promieniotwórczych dla potrzeb medycyny i przemysłu oraz do prowadzenia badań fizycznych. Podstawowe parametry reaktora są następujące:

- moc nominalna – 30 MW
- strumień neutronów termicznych – $4 \cdot 10^{14}$ n/cm²s
- moderator – H₂O, beryl
- reflektor – grafit
- element paliwowy:
 - materiał: UO₂-Al
 - wzbogacenie: 36%
 - koszulka: Al
 - kształt: 6 koncentrycznych rur
 - długość: 1000 mm

Na rys. 1 przedstawiono fotografię basenu reaktora z widocznymi rurami doprowadzającymi chłodziwo do kanałów paliwowych.

W roku 2011 reaktor przepracował 4275 godz. na mocy od 18 do 22 MW, co przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 2). Eksploatacja reaktora przebiegała zgodnie z harmonogramem i dostosowana była w szczególności do zapotrzebowań, na napromienianie płytek uranowych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla firmy Covidien (Holandia) oraz do zapotrzebowania Ośrodka Radioizotopów Polatom i Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej na napromienianie materiałów tarczowych.

Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych, jak: dwutlenek telluru (do produkcji J-131), siarka (do produkcji P-32), chlorek potasu (do produkcji S-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, iterb, lantan, miedź, kobalt, próbki materiałów



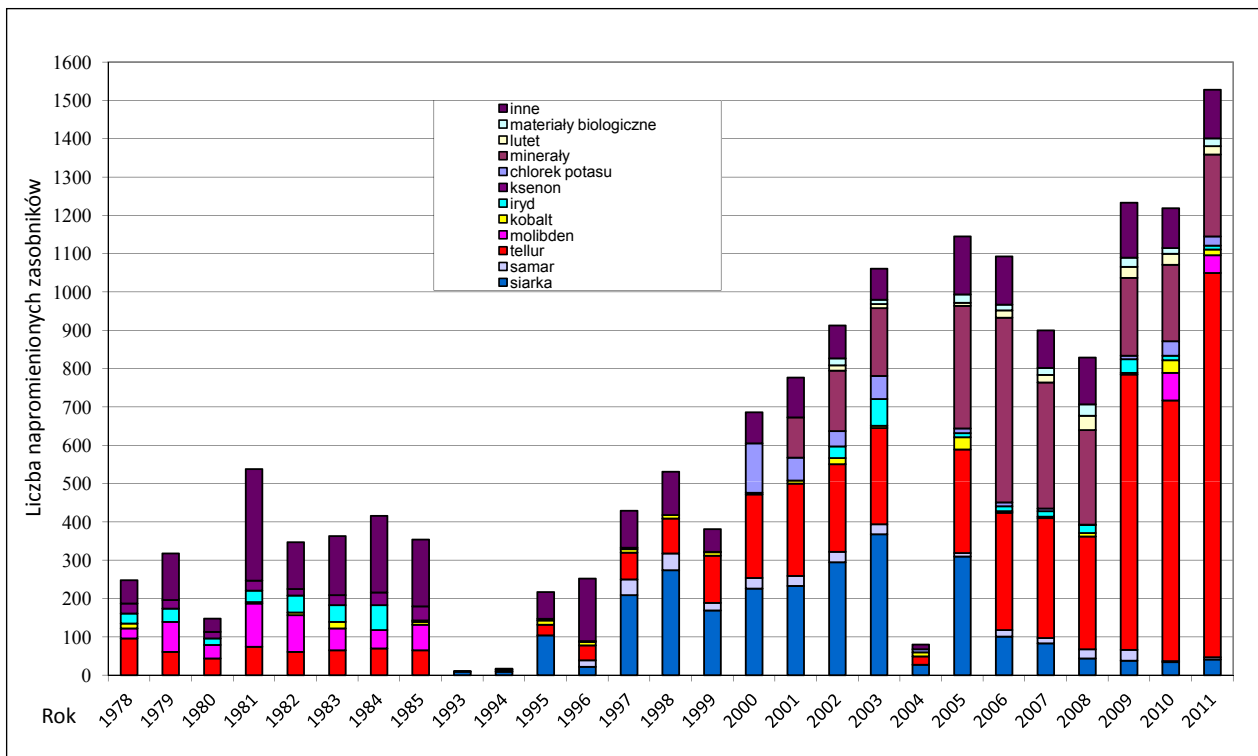
Rys. 1. Widok basenu reaktora (z archiwum NCBJ)

alkalicznych, biologicznych i geologicznych. Całkowita aktywność napromienionych materiałów wyniosła ok. 600 TBq oraz 6000 TBq Mo-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 3). Widoczne na rysunku obniżenie produkcji w 2004 r. spowodowane było wyłączeniem reaktora z powodu braku paliwa jądrowego. Ponadto w 2011 r. prowadzono napromienianie minerałów, w czterech specjalnych stanowiskach, co wymagało stosowania „nietypowej” konfiguracji rdzenia reaktora z ośmioma blokami wodnymi zawierającymi filtr, modelujący widmo neutronów (rys. 4). Prowadzono również napromieniania igieł irydowych wykorzystywanych w brachyterapii.

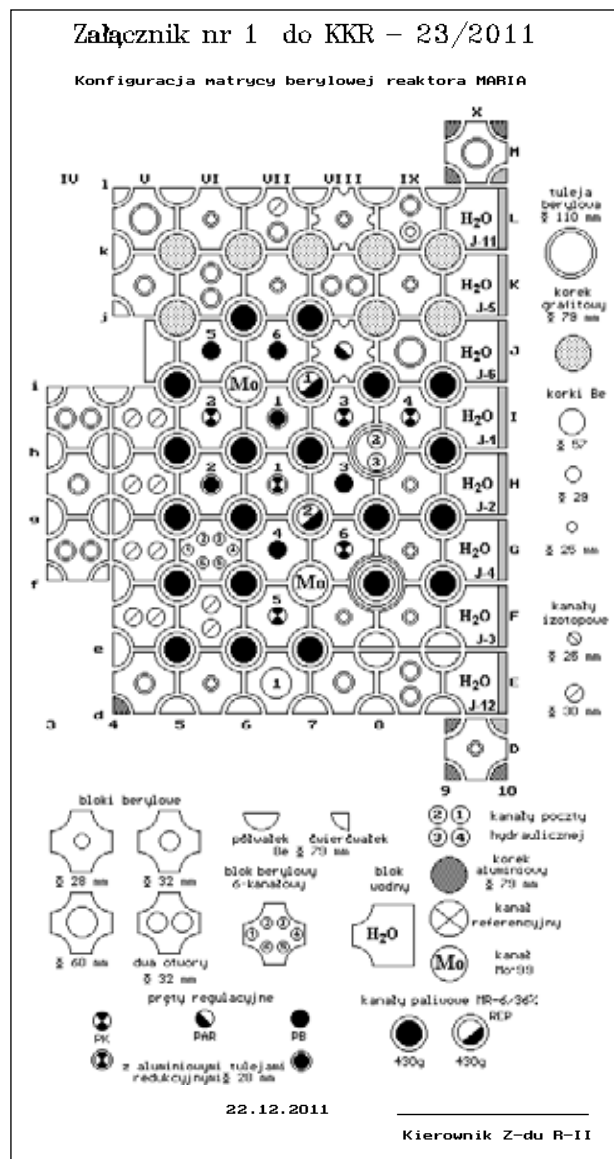
^{*)} Z dniem 1 września 2011 r. nastąpiło połączenie Instytutu Energii Atomowej POLATOM, dotychczasowego operatora reaktora MARIA, z Instytutem Problemów Jądrowych w Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Świerku



Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora w 2011 r.



Rys. 3. Wykaz napromienionych materiałów od początku eksploatacji reaktora MARIA



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora w grudniu 2011 r.

Cały ubiegły rok kontynuowano komercyjne napromienianie płytek uranowych (o wzbogaceniu 98% w izotop U-235) służących do produkcji Mo-99, który to izotop ulega przemianie w technet Tc-99m, będący najbardziej powszechnym radiofarmaceutykiem stosowanym w medycynie. Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja jest identyczna jak kanałów paliwowych. Napromienianie realizowane jest w gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora (rys. 4), w czasie wydłużonych cykli pracy reaktora równych 120÷145 godz., na mocy ok. 22 MW. Uzyskane aktywności Mo-99 są bardzo wysokie (w zakresie 230-490 TBq) co dobrze charakteryzuje możliwości produkcyjne reaktora MARIA.

W ramach udoskonalenia technologii napromieniania kryształów krzemu, w celu jego neutronowego domieszkowania, prowadzono szereg prac analitycznych i próbných napromieniania kryształów o średnicy 5" (cali). Ponieważ efektywność procesu neutronowego domieszkowania określana jest jednorodnością wprowadzanych domieszek oraz zgodnością z założonym poziomem domieszek, jest istotne, aby precyzyjnie określać warunki napromieniania (strumienie neutronów i ich rozkłady). Z uwagi na specyfikę konstrukcji rdzenia reaktora MARIA, tzn. jego dużą niejednorodność, usytuowanie kanału krzemowego w sąsiedztwie kanałów do napromieniania materiałów tarczowych i prętów regulacyjnych, odnotowujemy dużą niestabilność poziomu strumienia neutronów termicznych, co wpływa na poziom domieszkowania kryształów. Wykonane prace analityczne i pomiarowe miały na celu optymalizację procesu napromieniania, poprzez dobór konfiguracji i rodzaju samozasilających detektorów dla określenia strumienia neutronów jak również opracowanie optymalnej procedury kalibracyjnej.

Celem pracy reaktora MARIA w 2011 r. było również wykorzystywanie wiązek neutronów, wyprowadzonych przez kanały poziome reaktora do prac badawczych, prowadzonych przez Środowiskowe Laboratorium Neutrografii. Poniżej przedstawiono zakres prac badawczych prowadzonych na kanałach poziomych:

Kanał poziomy Nr H-3

(łączny czas otwarcia kanału: 800 godz. czyli 19% czasu pracy reaktora)

- Badanie nano-struktury proszku korundowego o różnej granulacji.
- Badanie nano-wydzielen powstających w wyniku rozpadu spinodalnego w polikrystalicznych stopach Mn-Cu.

Kanał poziomy nr H-4

(łączny czas otwarcia kanału: 530 godz. – 12%)

- Badanie rozmiarów pustek w złożach korundu o różnej granulacji.

Kanał poziomy Nr H-5

(łączny czas otwarcia kanału: 350 godz. – 8%)

- Testowanie układu scyntylicyjnej detekcji neutronów termicznych.

Kanał poziomy Nr H-6

(łączny czas otwarcia kanału: 3350 godz. – 78%)

- Badanie wzbudzeń magnetycznych w hartowanej próbce stopu $Mn_{0.75}Cu_{0.25}$ po rozpadzie spinodalnym i deformacji wzdłuż kierunku [110] w zależności od temperatury.
- Badanie uporządkowania bliskiego zasięgu w stopie Mn-Ni-Cu w zależności od temperatury.

Kanał poziomy Nr H-7

(łącznie czas otwarcia kanału: 2650 godz. – 62%)

- Badanie dyfuzyjnego sprężystego rozpraszania neutronów w stopie SENDUST.
- Badanie fal spinowych w temperaturze pokojowej w stopie $Mn_{0,75}Cu_{0,25}$ po rozpadzie spinodalnym.
- Badanie fluktuacji magnetycznych w otoczeniu sieci odwrotnej (1,1/2,0) w hartowanej próbce stopu $Mn_{0,75}Cu_{0,25}$ w temperaturze pokojowej.

Kanał poziomy Nr H-8

(łącznie czas otwarcia kanału: 1250 godz. – 29%)

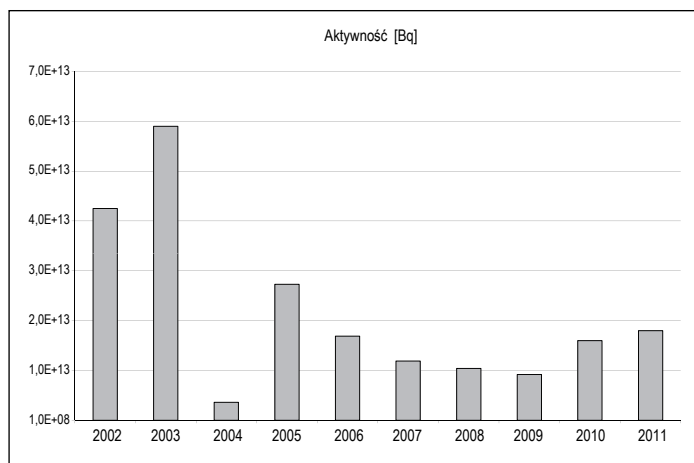
- Badanie procesu schnięcia walców i szcianów wykonanych z mokrego piasku kwarcowego i kaolinu.
- Badanie migracji roztworów wodnych wybranych soli w złożach suchego drobnoziarnistego zeolitu naturalnego i proszku marmurowego.
- Badanie namakania i schnięcia próbek zapraw i betonów (współpraca z Necsa RPA).

Od 2006 r. eksploatowane są elementy paliwowe typu MR-6 o wzbogaceniu 36% i zawartości 430 g izotopu rozszczepialnego U-235. Od tego czasu stwierdzono zdecydowany spadek uwolnień produktów rozszczepienia do wody pierwotnych obiegów chłodzenia reaktora i co za tym idzie, spadek zagrożenia radiologicznego w pomieszczeniach technologicznych. Ze względu na lepszą jakość, możliwe jest głębsze wypalenie elementów paliwowych, przewyższające 50%, co zdecydowanie podnosi efektywność wykorzystania paliwa.

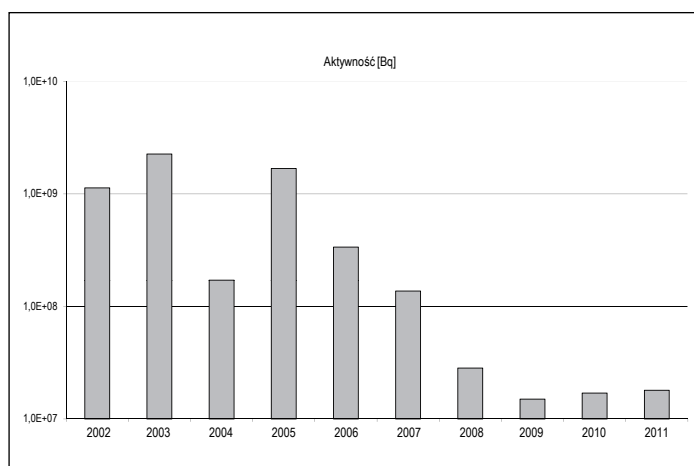
W ubiegłym roku zakończono testowe napromienianie drugiego prototypowego elementu paliwowego, typu MC o wzbogaceniu 19,75% w izotop U-235 (niskowzbogacony) i zawartości 480g po osiągnięciu 60% wypalenia. Dwa takie elementy wyprodukowane zostały przez firmę CERCA i z uwagi na pozytywne wyniki ich testowania, tego typu paliwo będzie w przyszłości eksploatowane w reaktorze MARIA. Konwersja rdzenia reaktora MARIA, na paliwo niskowzbogacone, podyktowana jest przystąpieniem Polski do programu GTRI (*Global Threat Reduction Initiative*).

Poziomy uwolnień do atmosfery, przedstawione na rys. 5-7, wynosiły:

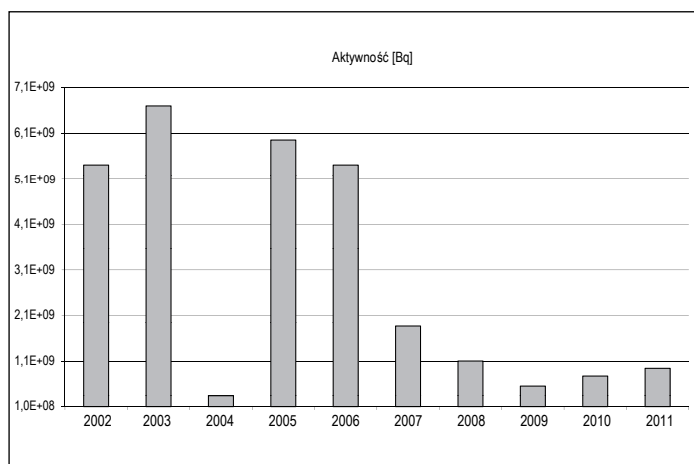
- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) –



Rys. 5. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych wciągu ostatnich dziewięciu lat



Rys. 6. Roczne uwolnienia jodów wciągu ostatnich dziewięciu lat



Rys. 7. Roczne uwolnienia aerozoli krótkożyciowych izotopów rubidu (Rb-88) i cezju (Cs-138) w ciągu ostatnich dziewięciu lat

- 1,8·10¹³Bq, co stanowiło 1,8% limitu uwolnień,
- emisja jodów – 1,8·10⁷Bq, co stanowiło 0,4% rocznego limitu uwolnień,
- emisja krótkożyciowych izotopów Rb-88 i Cs-138 – 9,4·10⁸Bq.

W 2011 roku 97 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach 0,2÷3,42 mSv, a 8 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach 0,48÷4,25 mSv.

W czasie pracy reaktora wystąpiła jedna krótkotrwała przerwa w pracy reaktora (ok. 20 minut) oraz jedno wyłączenie nieplanowane prowadzące do skrócenia cyklu pracy. Wyłączenie to spowodowane było nieszczelnością w układzie chłodzenia kanałów paliwowych.

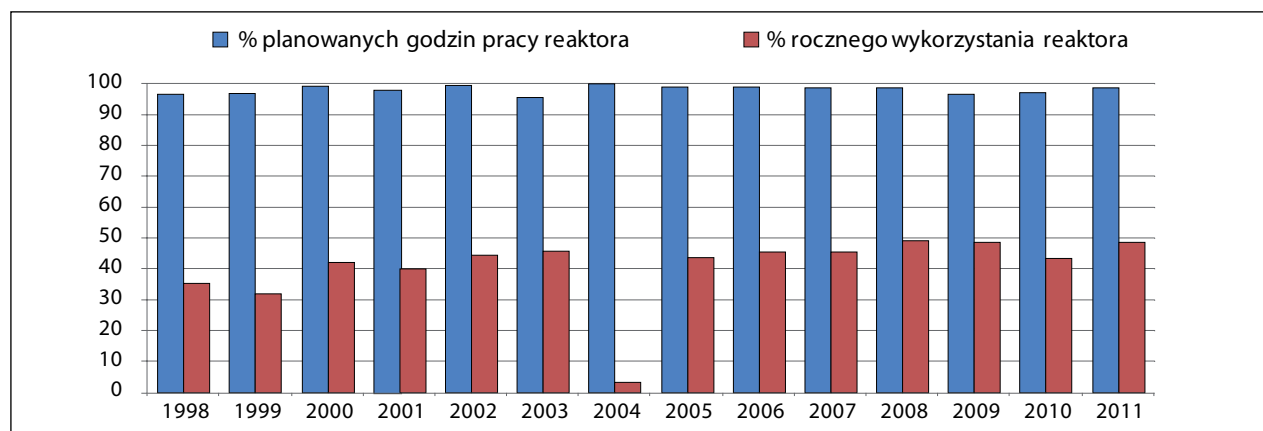
Poniżej przedstawiono dwa parametry świadczące o dyspozycyjności reaktora MARIA:

1. stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin nieplanowanych wyłączeń (A₁), który wynosił 98,7%,
2. stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w roku (A₂) wynoszący 48,8%.

W latach poprzednich wskaźniki te kształtowały się następująco:

Wskaźnik	Rok													
	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
A ₁	96,8	97,0	99,4	98,0	99,5	95,7	100,0	99,0	99,1	98,7	98,8	96,8	97,1	98,7
A ₂	35,5	32,0	42,3	40,0	44,5	45,8	3,4 ^{*)}	43,7	45,7	45,7	49,1	48,7	43,4	48,8

*) z powodu braku paliwa reaktor pracował tylko 300 godzin



Rys. 8. Wskaźniki dyspozycyjności reaktora MARIA

Podczas ubiegłorocznej pracy reaktora nie odnotowano żadnych incydentów, które spowodowałyby zagrożenie radiologiczne środowiska.

Z ważniejszych prac modernizacyjnych dokonanych w reaktorze należy wymienić zainstalowanie drugiego, nowego wentylatora typu WO-6000 na chłodni obiegu wtórnego.

W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2011 r., reaktor MARIA odwiedziło ok. 5000 uczniów szkół średnich i studentów uczelni wyższych z terenu całej Polski. Dla niektórych grup studenckich organizowano również ćwiczenia praktyczne z zakresu fizyki reaktorowej i ochrony przed promieniowaniem jonizującym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że praca reaktora przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz bezpieczną eksploatację.

mgr inż. Andrzej Gołąb,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk

WIELKA CHEMIA ZASILANA ENERGIĄ JĄDROWĄ?

Zbigniew P. Zagórski

Celem poprzedniego artykułu pt.: Wielka chemia zasilana energią jądrową?, (PTJ v.54, z.2, s.10-24) była polemika z tezą, jakoby ciepło o wysokiej temperaturze wytwarzane w reaktorze wysokotemperaturowym chłodzonym helem mogłoby być wykorzystane do produkcji chemicznej różnego rodzaju, w szczególności związków organicznych, zwłaszcza paliw silnikowych na wielką skalę. Wykazano, że jest to nierealne i w okresie od ukazania się artykułu nie pojawił się w literaturze światowej żaden artykuł, który mógłby poprzeć tezę środowisk promujących budowanie reaktorów wysokotemperaturowych, dając uzasadnienie taniej produkcji chemicznej. Co więcej, pojawiały się nieuzasadnione głosy lobbystów, że reaktory wysokotemperaturowe mogłyby pomóc przerabiać biomasę albo odsalać wodę morską, co jest jeszcze trudniejsze do realizacji przez reaktor wysokotemperaturowy niż produkcja paliw płynnych.

Od czasu publikacji w PTJ nie ukazał się żaden materiał na ten temat z wyjątkiem prezentacji na 4th International Freiberg Conference on IGCC and XtL Technologies w Dreźnie (Niemcy) w maju 2010 r. napisanej przez panów D. Knoche i M. Esch pt.: „Nuclear options for process heat applications.” Prezentacja ta mogłaby być zignorowana, jednakże z uwagi na afiliację autorów Westinghouse Electric Company GmbH (zatrudnia 450 pracowników) warto podać szczegóły ze względu na wielce obiecujący tytuł. Przedsiębiorstwo przedstawia się jako następcę cytowanych w moim poprzednim artykule jednostek przemysłowych: BBC, Krupp i Hochtemperatur Reaktor Bau. Większa część z 28 stron prezentacji dotyczy części reaktorowej, dopiero w części przyszłościowej mówi się, bez szczegółów, że w następnej generacji reaktorów znajdzie się rafinowanie (?) petrochemikaliów w temperaturze 500°C, wytwarzanie nawozu sztucznego w tej samej temperaturze (bez objaśnień, rafinowanie plastyków (!) w temperaturze 720°C i produkcja wodoru w temperaturze 900°C. Pierwsze trzy pozycje są absolutnie tajemnicze i chyba nie formułował ich chemik. Nierealność produkcji wodoru udowodniłem w poprzednim artykule – gdyby to było możliwe, to istniałyby już wytwórnie wodoru z lustrami koncentrującymi promienie słoneczne. Nierozwiązalnym problemem jest rozdzielenie stechiometrycznej mieszaniny wodoru i tlenu z termolizy wody. Proponowany następnej

generacji reaktor wysokotemperaturowy (podobno na prośbę Departament of Energy w USA) miałby w 2013 r. uzyskać licencję na budowę i eksploatację, w 2017 r. miałaby rozpocząć się budowa, a w 2021 r. eksploatacja. Niewiele mówiące szkice bez objaśnień dotyczą nieznannej hydrogazyfikacji (*hydrogasification*) i gazyfikacji parowej (*steam gasification*) nie wiadomo czego. Jest rzeczą żenującą, że tak poważna firma jak Westinghouse, nawet w wersji niemieckiej szermuje fantazjami nie-naukowymi. W artykule recenzowanym i drukowanym prawdopodobnie nikt nie podpisałaby się, a materiał przeznaczony na konferencję może ukazać się w takiej formie, mimo że zawiera bezwartościowe, jeżeli chodzi o naukę, informacje pseudonaukowe.

W poprzednim artykule, przy omawianiu konstrukcji reaktora, zwrócono uwagę na niebezpieczeństwo zapłonu paliwa wykonanego w postaci grafitowych kul zawierających odpowiednio wzbogacony uran, w przypadku wtargnięcia powietrza do obiegu helowego. Wątpliwości co do możliwości zajścia takiego zdarzenia były wysuwane w poprzednim artykule, zresztą były też od czasu do czasu poruszane przez samych konstruktorów reaktorów wysokotemperaturowych. Sprawa jest na tyle ważna, że w październiku 2011 r. w czasopiśmie *Science and Technology of Nuclear Installations* został opublikowany artykuł Rainera Moormanna z FZJ (Forschung Zentrum Jülich – Centrum Badawcze Jülich, Niemcy – Instytut łańcucha jednostek Helmholtza, odpowiednik naszych JBR) pt.: „Phenomenology of graphite burning in air ingress accidents of HTRs”. Pojawienie się takiego opracowania dokonanego przez autora aktywnie uczestniczącego w Niemczech w badaniach palności paliwa grafitowego było konieczne, bo naiwnością byłoby przypuszczać, że kule grafitowe o temperaturze do 1000°C będą tak długo bezpieczne, dopóki są otoczone helem, a nawet śladowe ilości powietrza, które znajdują się w obiegu nie spowodują, że natychmiast się zapalą.

Omawiając możliwość zapalenia się grafitu, należy pamiętać o dwóch wielkich awariach, w których grafit odgrywał kluczową rolę. Pierwsza z nich to pożar reaktora dla celów wojskowych w Windscale (obecna nazwa Sellafield, UK) w roku 1957. Reaktor produkował pluton-239 jakości „bombowej” (weapons grade), tryt (do bomb hybrydowych) i polon (zapalnik głowicy nuklearnej).

W reaktorze znajdowało się ok. 2000 ton grafitu, który w zasadzie znajdował się w temperaturze poniżej zapłonu w powietrzu, jednakże przegrzanie rdzenia doprowadziło do zapłonu elementów paliwowych (osadzonych w łatwopalnym stopie magnezowym) i grafitu. Zapłonowi sprzyjało wyzwolenie energii Wagnera w graficie, nagromadzonej w czasie napromieniowania w reaktorze. Pożar udało się ugasić przez zalanie wodą, ale dopiero po 30 godz., w czasie których do atmosfery przedostało się 740 TBq jodu-131. Incydent w Windscale spowodował podjęcie tematu palności grafitu w warunkach reaktorowych. Nie brano tego pod uwagę konstruując rosyjskie reaktory typu RBMK w Czarnobylu zbudowane z bloków grafitowych i chłodzone wodą. Ze znanych przyczyn grafit zaczął się tam palić przy obfitym dostępie powietrza. Uwolnienie radionuklidów do atmosfery było trzykrotnie większe niż w przypadku Windscale. Intensywny pożar oraz wiatry spowodowały skażenie olbrzymiego obszaru. Pożar udało się ugasić dopiero po 6 dniach. Według szacunków specjalistów tylko 15% rozproszonej aktywności było spowodowane wybuchem, a pozostałe (85%) pożarem grafitu.

Rola grafitu w reaktorach wysokotemperaturowych chłodzonych helem jest nieporównywalna z grafitem stosowanym jak reflektor w innych reaktorach, ale tym groźniejsza, skoro jest on integralną częścią paliwa. W tym wypadku odgrywają rolę nie tylko właściwości chemiczne grafitu, ile cały bilans temperaturowy paliwa i jego otoczenia. Głównym niebezpieczeństwem w warunkach reaktora wysokotemperaturowego jest podatność grafitu na utlenienie przy wysokiej temperaturze. Dostanie się powietrza i/lub pary wodnej do złoża kul paliwowych musi wywołać katastrofalny pożar. Nie widać sposobu uniknięcia takiej sytuacji, np. przez zamknięcie całości w szczelnej obudowie (*containment*), co między innymi spowodowało rezygnację z budowy południowo-afrykańskiego reaktora typu PBMR oraz chińskiego HTR-PM (informacja o zamknięciu projektów pochodzi ze wstępu do artykułu Moormana).

W tym względzie potrzebne są rozwiązania systemowe reaktora oraz konstrukcji paliwa, a kluczową rolę odegra w tym chemia w ogóle, a stosowana chemia fizyczna w szczególności oraz chemia radiacyjna ciała stałego oraz radiochemia.

Masywne utlenianie grafitu może następować już przez wtargnięcie powietrza do systemu reaktora wysokotemperaturowego. Jeden metr sześcienny (m^3) powietrza w warunkach standardowych może zgazować 0,1-0,2 kg grafitu, zależnie od tego, czy powstanie CO_2 czy CO . Typowa zawartość grafitu w rdzeniu reaktora HTR wynosi powyżej 100 ton. Dostęp powietrza możliwy jest poprzez nieszczelności w górnej lub dolnej części zbiornika reaktora lub przez nieszczelność w rurociągu doprowadzającym hel do urządzeń towarzyszących

(generatora pary, turbiny lub ewentualnych wymienników ciepła dla wykorzystania termicznego).

Najważniejsza reakcja utleniania grafitu ($C + O_2 \rightarrow CO_2$) oraz poboczne ($2C + O_2 \rightarrow 2CO$ i $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$) są egzotermiczne (odpowiednio $\Delta H = -393, -221, -565$ kJ/mol), natomiast reakcja $C + CO_2 \rightarrow 2CO$ jest endotermiczna (+172 kJ/mol). Proces palenia się grafitu opisywany jest kinetyką reakcji pomiędzy fazą stałą, a gazową z występującymi zahamowaniami, co początkowo sugerowało, że blok grafitu powinien palić się powoli i z oporami. Przypuszczano nawet, że wysokiej czystości grafit jądrowy powinien wykazywać pewne trudności w paleniu się, co nie potwierdziło się, a ogólna teoria palenia się ciała stałego w fazie gazowej ma i tutaj zastosowanie.

O zapłonie decydują relacje pomiędzy wydzielaniem ciepła, a jego ucieczką oraz wielkość i kształt reaktantów. Oznacza to, że warunki krytyczne dla palenia istnieją we wszelkich układach C/O_2 . Według jednej z propozycji: zapłon może nastąpić, gdy szybkość produkcji ciepła przez samopodtrzymującą się reakcję chemiczną przekracza szybkość przekazywania ciepła do otoczenia. Głównym zjawiskiem decydującym o szybkości przekazywania ciepła jest konwekcja, która jest liniową funkcją różnicy temperatury gazu i ciała stałego. Jeżeli ciepło stałe ma wysoką temperaturę to znacząca utrata ciepła może być spowodowana przez promieniowanie podczerwone. Ogólna teoria palenia miałaby w przypadku HTR pełne zastosowanie, jak np. w spalaniu koksu, jednakże dochodzi tu jeszcze wydzielanie ciepła w reakcji rozszczepienia uranu. Typową górną granicą ciepła wytwarzanego reakcją $C+O_2$ jest $10\div 100$ kW/ m^2 powierzchni węgla, podczas gdy szybkość tworzenia ciepła w reaktorze HTR wynosi dodatkowo w granicach $1\div 4$ kW/ m^2 powierzchni grafitu. Maksymalnie oczekiwać można 10 kW/ m^2 , krótko po wyłączeniu reaktora. Chemiczne ciepło spalania odgrywa rolę tylko lokalnie w miejscu pojawienia się tlenu, natomiast ciepło rozszczepienia wydzielają się w całym rdzeniu. Istnieją symulacje komputerowe efektów w zależności od ilości ingerującego tlenu dla konkretnego reaktora.

Krótko po pożarze reaktora w Windscale przeprowadzono eksperymenty palenia się grafitu w warunkach reaktorowych. Na dużą skalę zrobiono to w Brookhaven National Laboratory (BNL), w związku z działającym w tym Instytucie reaktorem z moderatorem grafitowym, chłodzonego powietrzem. W specjalnie skonstruowanym modelowym piecu grafitowym kanały były rozgrzewane do temperatury 300-350°C, a powietrze było doprowadzane strumieniem laminarnym lub turbulentnym, dla dwóch rodzajów grafitu jądrowego, po czym temperatura była podwyższana. Krytyczną okolicznością jest oczywiście zapłon, którego warunki były

szczegółowo badane jeszcze wcześniej niż omawiane tu zagadnienia, bo dotyczyły już zapłonu koksu. Ten jak wiadomo z praktyki grzewczej jest trudny do rozpoczęcia utleniania się. Obiektem rozważań jest kształtka węgla w strumieniu powietrza o stałej temperaturze, natomiast temperatura węgla się zmienia. Zakłada się, że konwekcja dominuje w odprowadzaniu ciepła, gdyż jest liniową funkcją różnicy temperatur pomiędzy gazem a fazą stałą, z wyjątkiem strefy wysokich temperatur, gdy promieniowanie cieplne staje się znaczące. Powstawanie ciepła z reakcji utleniania zachodzi z podobną do arreniusowej zależnością. Ostatecznie ustala się pewien stan stacjonarny, zależny przede wszystkim od ilości powietrza, które się przedostało i od lokalnego rozkładu temperatur. Teoretyczne przewidywania nie okazały się możliwe i dlatego przeprowadzono eksperymenty w BNL. Jakkolwiek dotyczyły one reaktora grafitowego chłodzonego powietrzem, wnioski dotyczą i innych reaktorów z grafitem.

Okazało się, że zapłon grafitu następuje tylko wtedy, gdy temperatura grafitu osiąga 700°C, warunek łątwo spełniony w reaktorze wysokotemperaturowym, a nie dający się ominąć, skoro jest to istota pracy reaktora wysokotemperaturowego. Niepublikowane, ale cytowane przez Moormanna wyniki badań południowoafrykańskich w ramach projektu PBMR wskazują jednak, że zapłon może nastąpić już w temperaturach 600-650°C.

W uzupełnieniu przeprowadzono w Niemczech symulowanie uderzenie samolotu w reaktor wysokotemperaturowy, podpalając piramidę kuleczek paliwowych oblaną benzyną w ilości wystarczającej na piętnastominutowe palenie. Piramida nie zapaliła się, jednak część kuleczek wykazała po obserwacji wystygniętej piramidy - nadpalenie.

Przechodząc od czystego grafitu do konkretnego paliwa reaktora wysokotemperaturowego, który jest skomplikowanym kompozytem, Moormann zauważa, że jeden z typów paliwa, TRISO jest mniej podatny na palenie się, dzięki tworzeniu się ochronnej warstewki dwutlenku krzemu na powierzchni węgliku krzemu, który jest składnikiem tego paliwa. Jednakże współczynnik dyfuzji tlenu w szklowie, jakim jest dwutlenek krzemu staje się znaczący w temperaturach 1200-1300°C. Z drugiej strony, powyżej 1500°C następuje destrukcja dwutlenku krzemu na lotny tlenek krzemu (SiO), a więc element paliwowy w obecności tlenu staje się mniej stabilny niż w helu. W tych, a więc optymalnych warunkach pracy reaktora obserwowano trwałość elementu paliwowego aż do temperatury 1600°C.

Urządzenie do szczegółowego badania możliwych skutków wtargnięcia powietrza do reaktora wysokotemperaturowego KORA było badane przez Moormanna do roku 1996. Elementy paliwowe były wypalone do 5-10%. Przytaczanie szczegółowych wyników starannych ba-

dań nie ma celu, choć mówią one o istotnym narażeniu reżimu eksploatacji reaktora w przypadku dostania się powietrza z obojętnie jakiej przyczyny, których może być dużo, niekoniecznie typu terrorystycznego. Rozpatrywane są różne scenariusze ratunkowe w rodzaju awaryjnych zapasowych zbiorników helu, a w końcu wstrzykiwanie pian i piasku. Najlepszym, systemowym środkiem zapobiegawczym byłaby jednak istotna modyfikacja paliwa z punktu widzenia jego palności.

Od dłuższego czasu zwraca się uwagę na rolę węgliku krzemu w ochronie elementów paliwowych przed dostępem powietrza. Należałoby opracować dużej gęstości, wolny od pęknięć, warstwowy węgiel krzemu (SiC). Dotychczasowe doświadczenia z jego cienkimi warstwami kryjącymi kulki grafitowe nie wyglądają zachęcająco, jednak intensywne prace grupy do której należy Moormann (jest sygnalizowana publikacja w druku w *Nuclear Engineering and Design*) nad grubszymi warstwami węgliku krzemu być może doprowadzi do dobrych rozwiązań. Powstający dwutlenek krzemu ma dobre właściwości. Inne potencjalnie korzystne warstwy ochronne jak węgiel cyrkonu nie są korzystne, ponieważ ZrO₂ tworzący się w wyniku dostępu powietrza ma wiele wyższy punkt topnienia niż SiO₂ i nie tworzy gęstej nieprzepuszczalnej dla tlenu warstwy w warunkach temperaturowych pojawiających się w wypadku reaktora wysokotemperaturowego. Elementy paliwowe z nieuszkodzoną warstwą ochronną węgliku krzemu zaczynają utleniać się dopiero w temperaturach powyżej 1300°C. Pozwoli to na zwolnienie konsekwencji wypadku i zastosowanie warunków ratunkowych. Przekroczenie temperatury 1600°C bez intensywnego awaryjnego chłodzenia musi doprowadzić do uszkodzenia paliwa z uwolnieniem produktów rozszczepienia.

Reasumując, teza poprzedniego artykułu w PTJ o braku realnych propozycji dla chemicznego wykorzystania ciepła reaktora wysokotemperaturowego pozostaje podtrzymana. Zagadnienie niebezpieczeństwa pożaru grafitowych elementów paliwowych jest rozpatrywane w „ojczyźnie” koncepcji reaktora wysokotemperaturowego z grafitowymi kulkami paliwowymi i chłodzonego helem. Realnie proponuje się dodatkowo, grubsze pokrywanie kulek grafitowych niepalnym węglikiem krzemu, który wtórnie, po utlenieniu daje ochronną warstwę szklatego dwutlenku krzemu (SiO₂). Jak na razie nie proponuje się paliwa osadzonego wyłącznie w węgliku krzemu, co całkowicie zapobiegłoby katastrofalnym skutkom dostania się powietrza do kulowego złoża rdzenia. Być może jest to z punktu widzenia reaktorowego niemożliwe.

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

SZKOLENIE PIERWSZEJ GRUPY EDUKATORÓW ENERGETYKI JĄDROWEJ

Wiesław Gorączko

Kolejne polskie rządy podejmowały działania zmierzające do wznowienia programu budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej, ale dopiero rząd premiera Donalda Tuska przyspieszył te działania i nadał konkretny wymiar poprzez szereg inicjatyw.

Od stycznia 2009 r. podjęto kilka decyzji otwierających drogę temu projektowi, a mianowicie:

- decyzja Rady Ministrów z 19 stycznia 2009 r. i ostatnia z 5 marca 2009 r. (do 2020 r. mają powstać w Polsce dwie nowoczesne elektrownie jądrowe o mocy co najmniej 3 000 MW każda);
- opublikowanie dokumentu „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” i przyjęcie go do realizacji przez Ministerstwo Gospodarki;
- powołanie H. Trojanowskiej na stanowisko pełnomocnika rządu RP ds. energetyki jądrowej i utworzenie Departamentu Energetyki Jądrowej w Ministerstwie Gospodarki;
- wielopłaszczyznowe działania Ministerstwa Przemysłu i Ministerstwa Gospodarki;
- konsultacje branżowe i międzyresortowe „Polityki...” itd.;
- rozpoczęcie w Państwowej Agencji Atomistyki prac nad niewielkimi zmianami Prawa atomowego (dotyczą głównie trybu i procedur nadawania uprawnień osobom zajmującym w elektrowni jądrowej stanowiska istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego).

Przygotowanie wysoko wykwalifikowanego personelu jest podstawowym elementem w infrastrukturze niezbędnej dla wprowadzenia energetyki jądrowej. Energetyka jądrowa wymaga szerokiego zakresu umiejętności inżynierskich i technicznych zarówno na etapie projektowania, budowy, eksploatacji i rozruchu. Poszukiwani będą pracownicy reprezentujący różne specjalności z zakresu: inżynieria komputerowa, mechanika, elektrotechnika i elektronika, układy pomiarowe i sterujące, automatyka, inżynieria reaktorowa, radiometria, ochrona radiologiczna, inżynieria zaopatrzenia. Ponad-

to potrzebni będą specjaliści reprezentujący wiedzę ogólnoinżynierską, mający zapewnić nadzór i kontrolę w czasie budowy, uruchamiania i normalnej pracy EJ, ocenę zjawiska korozji, analizę ryzyka i bezpieczeństwa, ocenę stanu technicznego wyposażenia oraz ochronę przeciwpożarową. Dla bezpiecznej eksploatacji i konserwacji elektrowni jądrowej niezbędni są specjaliści posiadający unikalne umiejętności tj.: operatorzy reaktora, operatorzy wyposażenia elektrowni, inspektorzy (technicy) ochrony radiologicznej, fizycy i chemicy. Cały personel elektrowni jądrowej musi posiadać wysoką wiedzę w zakresie bezpieczeństwa jądrowego. Konieczne będą systematycznie przeprowadzane szkolenia. Zaplanowanie ilości niezbędnych pracowników elektrowni jądrowej, zależy od wielu czynników m. in. od: lokalizacji elektrowni w stosunku do skupisk ludzkich, liczby bloków energetycznych w danej lokalizacji, liczby podwykonawców w ramach zawartych umów, wymogów legislacyjnych związanych z budową i eksploatacją, wymogów ochrony i monitorowania środowiska (naturalnego i środowiska pracy), prawa pracy, opracowanie strategii public relations i określenie celów, które powinny zostać osiągnięte w kampaniach edukacyjnych i informacyjnych.

Rozwój energetyki jądrowej w Polsce wymaga nowych programów edukacyjnych i szkoleniowych. Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej - MAEA zaleca budowę i rozwój specjalnej infrastruktury dla celów programów edukacyjnych i rozwoju zasobów ludzkich, a mianowicie: instytucji edukacyjnych dla zagadnień związanych z energią jądrową (szkoły wyższe i zawodowe, w tym związane z lokalizacją elektrowni), dodatkowe kursy mające na celu rozwój zasobów ludzkich dla pierwszego jądrowego reaktora energetycznego.

Wiele uczelni rozważa otwarcie kierunków studiów bezpośrednio lub pośrednio związanych z energetyką jądrową lub – szerzej – nukleoniką. Na niektórych wydziałach plany te nie wyszły jednak poza ich stadium. Wśród uczelni, które kształcą bądź będą kształcić na kierunku energetyka jądrowa lub pokrewnym można wymienić: Politechnikę Warszawską (Wydział Mecha-

niczny, Energetyki i Lotnictwa), Politechnikę Poznańską (Wydział Elektryczny, Wydział Technologii Chemicznej, Wydział Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Wydział Fizyki Technicznej), Akademię Górniczo-Hutniczą (Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, Wydział Elektryczny), Politechnikę Łódzką, Politechnikę Śląską, Konsorcjum „Kadry dla Energetyki Jądrowej i Technologii Jądrowych w Przemśle i Medycynie” (Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Politechnika Wrocławska, Uniwersytet Warszawski), Politechnikę Śląską (Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki), Politechnikę Gdańską (Międzywydziałowe studia na kierunku Energetyka), Politechnikę Wrocławską (Wydział Mechaniczno-Energetyczny), Uniwersytet Szczeciński oraz Politechnikę Gdańską.

W dokumencie „Polityka energetyczna Polski do 2030 r.” czytamy, że bardzo ważnymi elementami zapewniającymi realizację Polskiego Programu Energetyki Jądrowej są:

- realizacja pierwszej fazy programu kształcenia kadr dla instytucji związanych z energetyką jądrową oraz przygotowanie i przeprowadzenie pierwszej fazy kampanii informacyjnej i edukacyjnej, dotyczącej programu energetyki jądrowej;
- budowa zaplecza naukowo-badawczego oraz wspieranie prac nad nowymi technologiami reaktorów i synergią węglowo-jądrową;
- promocja wiedzy o energetyce jądrowej w społeczeństwie, edukacja młodzieży i kształcenie kadr dla energetyki jądrowej.

Te trzy składowe programu są zaplanowane jako długotrwałe procesy (na kilkanaście lat), które już się rozpoczęły. Szkolenie „Edukatorów Energetyki Jądrowej” to niezbędny ich element.

Kto to jest „Edukator Energetyki Jądrowej”? To „pionier” edukacji nuklearnej w Polsce. Osoba, która będzie organizowała i budowała na swojej macierzystej uczelni (lub w placówce naukowo-badawczej) kierunki studiów (badań naukowych) i specjalności związane z energetyką jądrową. Edukatorzy odbędą staże i praktyki w: instytucjach i ośrodkach edukacyjnych, ośrodkach treningowych, instytutach naukowo-badawczych, ośrodkach jądrowych, zakładach przemysłu nuklearnego, składowiskach odpadów promieniotwórczych, instytucjach dozoru jądrowego. Odbywać się to może jedynie w krajach mających rozwinięty przemysł jądrowy i bogate doświadczenie w kształceniu kadr dla energetyki jądrowej. Edukatorzy powinni przejść 3 etapy szkolenia dotyczące między innymi:

- wymagań dla pracowników elektrowni jądrowych,
- dogłębnego zrozumienia procesów zachodzących w elektrowni jądrowej,

- procedury postępowania w czasie normalnej eksploatacji, podczas zdarzeń radiacyjnych i zdarzeń awaryjnych,
- gospodarki wypalonym paliwem jądrowym,
- segregacji i składowania odpadów promieniotwórczych,
- monitoringu radiologicznego środowiska pracy i środowiska naturalnego.

Dodatkowe obowiązki edukatorów to :

- praca nad podniesieniem akceptacji społecznej dla budowy elektrowni jądrowej w Polsce i rozwoju technologii nuklearnej,
- szeroko pojęta edukacja społeczna (artykuły w prasie regionalnej, spotkania z lokalną społecznością),
- pomoc i wsparcie edukacyjne na poziomie szkół podstawowych, gimnazjów i szkół średnich,
- wsparcie i pomoc lokalnym władzom w poszukiwaniu potencjalnych inwestorów i kooperatorów w obszarze energetyki jądrowej,
- wsparcie edukacyjne wszelkich lokalnych pro-nuklearnych inicjatyw (stowarzyszeń, towarzystw itp.).

I. ETAP I, FRANCJA, 2.11-12.12.2009

Od 2 listopada do 12 grudnia 2009 r. odbył się we Francji I etap szkolenia edukatorów, w ramach rządowego programu kształcenia kadr dla instytucji i przedsiębiorstw związanych z energetyką jądrową. Organizatorem szkolenia, w porozumieniu z Ministerstwem Gospodarki (Departamentem Energetyki Jądrowej), była AFNI (*Agence France Nucléaire Internationale*), funkcjonująca w ramach CEA (*Commissariat à l'Energie Atomique*) i AREVA (wiodąca firma światowego przemysłu nuklearnego). Głównym celem CEA jest udzielanie pomocy rządów państw wdrażających program energetyki jądrowej, w przygotowaniu najlepszych do tego celu warunków instytucjonalnych, kadrowych i technicznych. Wśród sponsorów i instytucji przychylnie nastawionych do organizacji tego szkolenia wymienić należy: INSTN (*Institut National des Sciences & Techniques Nucleaires*), ASN (*Autorite de Surete Nucleaire*), ANDRA (*Agence Nationale Pour la Qestion des Dechets Radioactifs*), IRSN (*Institut de radioprotection et de Surete Nucleaire*), EDF (*Electricite de France*), GDF SUEZ (*Gaz de France*) oraz macierzyste szkoły wyższe i placówki naukowe.

W szkoleniu udział wzięło 20 pracowników polskich uczelni wyższych, instytutów naukowych i instytucji państwowych, którzy zapoznani zostali m.in. z działaniem zakładów wytwarzających systemy i komponenty dla elektrowni jądrowych, produkujących paliwo jądrowe i przerabiających „wypalone”, składujących odpady

promieniotwórcze oraz z funkcjonowaniem samych reaktorów jądrowych i elektrowni.

Szkolenie zainaugurowane zostało trzydniową wstępną sesją teoretyczną, w centrum szkoleniowym Areva University, w Aix-en-Provence. Podczas sesji omówione zostały między innymi następujące zagadnienia:

- historia energetyki jądrowej we Francji i na świecie,
- rodzaje i funkcje francuskich instytucji rządowych związanych z energetyką jądrową,
- globalne ocieplenie (wpływ CO₂) a rozwój energetyki jądrowej; renesans energetyki jądrowej; dywersyfikacja źródeł pozyskania energii,
- elementy fizyki jądrowej i teoria reaktorów,
- cykl paliwowy.

Następny etap szkolenia - w zależności od rodzaju wizytowanych ośrodków - obejmował:

- zakłady przemysłu jądrowego,
- elektrownie jądrowe,
- składowiska odpadów promieniotwórczych,
- ośrodki naukowo-badawcze pracujące dla energetyki jądrowej,
- ośrodki i instytucje szkoleniowo-edukacyjne.

Zakłady przemysłu jądrowego

- Areva NC Pierrlatte - chemiczne zakłady konwersji i wzbogacania uranu, Tricastin
- Areva FBFC (*Franco Belge de Fabrication du Combustible*) – zakłady produkcji paliwa do reaktorów jądrowych, Romans
- Areva NP – fabryka dużych komponentów do reaktorów jądrowych, Chalon/St-Marcel
- Areva TC – ośrodek przemysłowo-badawczy dla energetyki jądrowej, Le Creusot
- ANDRA – zakłady przerobu (recyclingu) zużytego paliwa z francuskich reaktorów jądrowych, La Hague (Normandia)

Elektrownie jądrowe

- Elektrownia jądrowa Cruas-Meysse – Francja; 2 tygodnie po naszej wizycie, 4 grudnia około 4 godziny w nocy nastąpiła awaria w tej elektrowni. Wskutek wysokiego poziomu rzeki w miejscu poboru wody (do filtrów poprzez które zasysana była woda) dostało się zbyt dużo alg. Spowodowało to zmniejszenie ilości dostarczanej wody do 3 obiegu i automatyczne zatrzymanie pracy reaktora. Awarię zakwalifikowano do kategorii 2 (w 7 stopniowej skali INES).
- Elektrownia jądrowa w budowie EDF Flamanville 3, Flamanville – Francja
- Elektrownia jądrowa Tihange GDF-Suez Elecrabel – Belgia

Składowiska odpadów promieniotwórczych

- ANDRA Centre Aube – składowisko odpadów nisko- i średnio-aktywnych, Soulainis-Dhuys (*Low- and Intermediate-level Waste Facility*)
- ANDRA Centre Aube – składowisko odpadów bardzo niskoaktywnych, Morvilliers (*Very Low Level Waste Facility*)

Ośrodki naukowo-badawcze pracujące dla energetyki jądrowej

- CEA Cadarache – centrum naukowo-badawcze dla energetyki jądrowej i termojądrowej
- CEA Marcoule – centrum badawczo-przemysłowe dla energetyki jądrowej
- CEA Saclay – centrum badawczo-szkoleniowe, Saclay/Paris
- ILL (*Institut Laue-Langevin*) – centrum naukowo-badawcze nanotechnologii, Grenoble
- CORYS T.E.S.S – produkcja programów edukacyjno-szkoleniowych, Grenoble
- Ganil (*Grand Accélérateur National d'Ions Lourds*) – ośrodek naukowo-badawczy, Caen
- IRSN (*Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire*) – ośrodek badawczo-szkoleniowy bezpieczeństwa jądrowego, Fontenay-aux-Roses/Paris
- Crisis Technical Centre CTC – Techniczne Centrum Kryzysowe, Fontenay-aux-Roses/Paris; z powodu awarii w elektrowni jądrowej EDF Cruas-Meysse (którą oglądaliśmy) część personelu Centrum była w Cruas

Ośrodki i instytucje szkoleniowo-edukacyjne

Poza opisanymi wcześniej zakładami przemysłu jądrowego, elektrowniami jądrowymi, składowiskami odpadów promieniotwórczych oraz ośrodkami naukowo-badawczymi, szkolenie obejmowało również wizyty w wybranych kilku ośrodkach i instytucjach szkoleniowo-edukacyjnych. Przedstawiono nam system organizacyjny szkoleń we Francji, programy edukacyjne oraz laboratoria dydaktyczno-szkoleniowe.

W programie szkolenia znalazły się następujące szkoły i ośrodki szkoleniowo-edukacyjne:

- AREVA University - Aix en Profance
- AREVA - Rue La FAYETTE, Paris
- AREVA Tover - La Defence, Paris
- PHELMA (*School of PHysics, ELectronics and Material*) - Grenoble
- LPSC (*Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmology*) -Grenoble
- INPG (*Institute National Polytechnique de Grenoble*) - Grenoble
- ENSAM (*Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers*) - Cluny

- INSTN (*Institut National des Sciences et Techniques Nucleaires*) – Saclay
- VISIATOME – CEA Marcoule
- CNAM (*Conserwatoire National de Arts et Metiers*) – CEA Marcoule.

Ostatniego dnia pobytu tj. 12.12.2009 r., w gmachu głównym Areva Tover, odbyła się sesja podsumowująca I etap szkolenia, podczas której uczestnicy wygłosili referaty dotyczące energetyki jądrowej. Poprzedzało ją wystąpienie przedstawiciela AFNI, który przedstawił propozycję programu etapu II (2010) i etapu III szkolenia (2011).

Szkolenie oficjalnie zakończyło się w Ambasadzie Polskiej w Paryżu, na którym swoje wystąpienia mieli: Ambasador RP, dwaj pracownicy Ministerstwa Gospodarki (Departamentu Energii Jądrowej) oraz przedstawiciele strony francuskiej (prezysi lub wiceprezysi: AFNI, ANDRA, AREVA, CEA, EDF, GDS-Suez, INSTN, IRSN). Wszyscy podkreślali doniosłość decyzji rządu RP dotyczącą rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Francuzi ze swej strony deklarowali pomoc zarówno w procesie szkolenia edukatorów, jak i obszary współpracy naukowej, technicznej i przemysłowej.

Wnioski wypływające z I-ego etapu szkolenia :

- w szkoleniu wzięło udział 20 osób z: Politechniki Warszawskiej (3), Instytutu Badań Jądrowych z Krakowa (3), Politechniki Poznańskiej (2), Instytutu Energii Atomowej ze Świerku (2), Uniwersytetu Marii Skłodowskiej-Curie z Lublina (2), Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej z Warszawy (2), Akademii Górniczo-Hutniczej z Krakowa (1), Politechniki Śląskiej (1), Uniwersytetu Śląskiego (1), Politechniki Wrocławskiej (1), Politechniki Łódzkiej (1), Państwowej Agencji Atomistyki z Warszawy (1);
- wykładowcami byli na ogół dyrektorzy generalni ośrodków, dyrektorzy ds. współpracy z zagranicą, dyrektorzy ds. naukowych lub kompetentni naukowcy; lunchy zawsze odbywały się w towarzystwie kilku Francuzów (wykładowcy, dyrektorzy, kierownicy pionów naukowo-badawczych), co pozwalało na dalszą dyskusję i kontakty mniej oficjalne;
- strona francuska prezentowała całkowitą transparentność – tj. zawsze odpowiadano na każde zadane przez nas pytanie; wprowadzano nas nawet do ściśle zastrzeżonych stref ośrodków (z wyjątkiem – co zrozumiale – militarnych części);
- organizacja całej – ponad 2000 km trasy – była bardzo dobra a opiekujący się grupą (z ramienia Areva'y Adam Rozwadowski) okazał się nieocenionym; standard hoteli i strona socjalna była bez zarzutu;

- prawie co wieczór przeprowadzano z nami tzw. briefingi (często uczestniczyli w nich Francuzi z wizytowanych ośrodków), pytając o nasze wrażenia (zarówno pozytywne, jak i negatywne); ocenialiśmy wspólnie oglądane miejsca;
- na ogół na bieżąco otrzymywaliśmy materiały (w postaci papierowej lub elektronicznej) prezentowane na wykładach, jak również z części technicznych wizyt;
- program I etapu szkolenia był bardzo bogaty: w ciągu 6 tygodni edukatorzy wizytowali: 13 ośrodków badawczych, 3 zakłady produkcji paliwa jądrowego i jego przeróbki, 3 elektrownie jądrowe, 3 składowiska odpadów promieniotwórczych, 8 szkół wyższych. Zgromadzono ponad 120 prezentacji i dużą ilość materiałów dydaktycznych, pomocniczych i reklamowych. W czasie szkolenia zdarzyła się jedna awaria w elektrowni jądrowej (2 stopnia) i 1 alarm w zakładzie produkcji i przeróbki paliwa jądrowego. Trasę I etapu przedstawia fot. 1.



Fot. 1. Trasa I etapu szkolenia „Edukatorów Energetyki Jądrowej” (Tour de France)

II. ETAP II, 4.10 – 17.12.2010, SACLAY/ FRANCJA

W dniach 4 października – 17 grudnia 2010 r. we Francji odbył się II etap szkolenia, w ramach rządowego programu kształcenia kadr dla instytucji związanych z energetyką jądrową. Szkolenie odbyło się w ośrodku naukowo-dydaktycznym CEA (*Commissariat à l'Energie Atomique*, Komisariat ds. Energii Jądrowej i Alternatywnych Źródeł Energii) Saclay pod Paryżem.

Organizatorami szkolenia, w porozumieniu z Ministerstwem Gospodarki (Departament Energetyki Jądrowej) były CEA oraz INSTN (*Institut National des Science et Techniques Nucléaires*, Państwowy Instytut Nauk i Technologii Jądrowych).



Fot. 2. Tricastin – Pierrlatt. Instalacja Comurhex do wzbogacania paliwa

W szkoleniu udział wzięło 25 edukatorów z następujących polskich uczelni wyższych i instytucji państwowych: Politechnika Gdańska (3), Politechnika Łódzka (1), Politechnika Poznańska (2), Politechnika Śląska (1), Politechnika Warszawska (5), Politechnika Wrocławska (1), Akademia Górniczo-Hutnicza (3), Uniwersytet Warszawski (1), Uniwersytet Łódzki (1), Uniwersytet Szczeciński (2), Uniwersytet Śląski (1), Uniwersytet Warmińsko-Mazurski (1), Instytut Fizyki Jądrowej Kraków (1) oraz Instytut Problemów Jądrowych Świerk (1).

Celem szkolenia było dostarczenie uczestnikom wiedzy, rozszerzenie zagadnień związanych z energetyką jądrową, niezbędnej do prowadzenia procesu dydaktycznego w tej tematyce na macierzystych uczelniach.

Szkolenie obejmowało 11-tygodniowy cykl zajęć w ramach których, odbywały się wykłady, konferencje, ćwiczenia rachunkowe, symulacje komputerowe oraz ćwiczenia laboratoryjne. Realizowane w ramach szkolenia bloki tematyczne obejmowały:

- przepływy cieplne (Thermo-Hydraulics)
- procesy oddziaływania promieniowania z materią (Processes of Defect Creation)
- jądrowy cykl paliwowy (Nuclear Fuel Cycle)
- reaktory lekkowodne ciśnieniowe PWR (Pressurised Water Reactor)
- systemy reaktorów jądrowych (Nuclear Reactor Systems)

- fizykę jądrową (Nuclear Physics)
- neutronikę i transport neutronów (Neutronics)
- bezpieczeństwo jądrowe (Nuclear Safety)
- materiałoznawstwo (Material Science)
- kinetykę reaktora jądrowego (Reactor Kinetics)
- zajęcia z wykorzystaniem wybranych programów numerycznych (Computer Codes)
- zajęcia laboratoryjne na reaktorze badawczym ISIS (ISIS Training Reactor)
- zajęcia z wykorzystaniem programów symulujących pracę bloku jądrowego z reaktorem PWR (SIREP Simulator)
- stany krytyczne reaktora (Criticality)
- ogólne problemy związane z eksploatacją jądrowych bloków energetycznych

W ramach szkolenia zorganizowano cztery wizyty techniczne:

- **ANDRA – zakład przerobu (recyclingu) zużytego paliwa z reaktorów jądrowych, La Hague.**

ANDRA (*Agence Nationale Pour la Gestion des Déchets Radioactifs*) to państwowa agencja odpowiedzialna za zarządzanie, wyprodukowanymi wyłącznie we Francji, odpadami promieniotwórczymi. Obsługuje składowiska odpadów, ustala dopuszczalne kryteria dla kontenerów do ich przechowywania oraz kontroluje jakość ich produkcji. Dodatkowo zajmuje się projektowaniem, lokalizowaniem i budową nowych składowisk. Celem wizyty był zlokalizowany na półwyspie Cotentin (Normandia) i założony w 1976 r., zakład do recyklingu wypalonego paliwa jądrowego i składowania odpadów o różnej aktywności. W ramach wizyty odbyła się prezentacja i dyskusja dotycząca działalności ośrodka oraz realizowanych w nim procesów technologicznych. W programie wizyty znalazły się następujące laboratoria ośrodka: laboratorium badań wpływu ośrodka w La Hague na otaczające środowisko (radiologiczny monitoring środowiska), stanowiska do realizacji poszczególnych etapów procesu recyklingu wypalonego paliwa jądrowego (począwszy od dostarczenia paliwa do ośrodka, a skończywszy na kompaktowaniu otrzymanych odpadów i ich składowaniu), dział wityfikacji oraz tymczasowe składowisko odpadów wysoko aktywnych (składowanie cyrkonowych elementów pochodzących ze zużytych zestawów paliwowych).

- **EDF – elektrownia jądrowa Flamanville III – w budowie**

Elektrownia składa się z dwóch pracujących reaktorów PWR o mocy 1350 MWe każdy oraz będącego w trakcie budowy reaktora EPR (1650 MWe), jednego z trzech tego typu budowanych obecnie na świecie (dwa pozostałe budowane są w Chinach i w Finlandii).

dii). Podczas wizyty przedstawiono i szczegółowo omówiono rozwiązania konstrukcyjne zastosowane w reaktorze EPR (*European Pressurized Reactor*), zaliczanego do reaktorów III generacji. W ramach wizyty odwiedzono miejsce budowy nowego reaktora i zapoznano się z postępem prac.

- **GDF-Suez – elektrownia jądrowa Doel – Belgia**

Jest to jedna z dwóch elektrowni jądrowych pracujących w Belgii. Cztery zainstalowane reaktory typu PWR produkują łącznie 2839 MWe (Doel 1: 392 MWe, Doel 2: 433 MWe, Doel 3: 1006 MWe, Doel 4: 1008 MWe). W ramach wizyty przedstawiono prezentacje poświęcone między innymi ogólnej charakterystyce elektrowni oraz strategii energetycznej w Belgii. Zwiedzono centrum informacyjne elektrowni, układ zamknięty chłodzenia skraplacza oraz halę maszyn elektrowni.

- **Liniowy akcelerator – muzeum Luvre**

Akcelerator wykorzystywany jest w pracach konserwatorskich i naukowych prowadzonych w muzeum. Laboratorium Akceleratora jest częścią dużego Laboratorium Konserwacji Zabytków.



Fot. 3. Cadarache, budowa reaktora Georges Basse II, unikalna podstawa antysejsmiczna

Szkolenie zakończone zostało dwudniową sesją podsumowującą, tzw. *project defence*, podczas której uczestnicy wygłaszali prezentacje (referaty) dotyczące zagadnień związanych z tematyką energetyki jądrowej. Podkreślić należy dobre przygotowanie szkolenia przez organizatorów, zarówno od strony organizacyjnej, jak i merytorycznej.

III. ETAP III, 1.10 – 16.12.2011, Francja.

W dniach 1 październik – 16 grudzień 2011 r. we Francji odbył się III etap szkolenia, w ramach rządowego programu kształcenia kadr dla instytucji związanych z energetyką jądrową.

Organizatorami szkolenia, w porozumieniu z Ministerstwem Gospodarki (Departament Energetyki Jądrowej) były CEA (*Institut National des Science et Techniques Nucléaires*, Państwowy Instytut Nauk i Technologii Jądrowych), AFNI (*France International Nuclear Agency*) i IZEN (*International Institute of Nuclear Energy*).



Fot. 4. Pierwsza grupa edukatorów w czasie spotkania w Ambasadzie RP, w Paryżu, po I etapie szkolenia, grudzień 2009 r.

Było to szkolenie indywidualne, 12 tygodniowe. Zainteresowani szkoleniem edukatorzy indywidualnie składali indywidualne aplikacje w wybranych przez siebie ośrodkach i czasie dostosowanym do planów macierzystych uczelni. Był to ostatni etap szkolenia edukatorów – praktyka. W szkoleniu udział wzięło 13 a wszystkie 3 etapy przeszło TYLKO 6 przedstawicieli polskich uczelni i ośrodków badawczych.

Celem III etapu było dostarczenie uczestnikom wiedzy i praktyka, w szerokim zakresie zagadnień związanych z energetyką jądrową, niezbędnej do prowadzenia procesu dydaktycznego w tej tematyce na macierzystych uczelniach. Praktyka odbyła się w ośrodku naukowym lub badawczym, w Departamentach wcześniej wskazanych przez zainteresowanych.

Praktyki odbyły się w:

- CEA Cadarache, Departament Ochrony Radiologicznej (Radiation Protection); systemy monitoringu radiologicznego instalacji jądrowej;
- CEA Saclay; ochrona fizyczna obiektów jądrowych i symulatory systemów ochrony obiektów jądrowych;
- CEA Saclay, DSM/Irfu LENAC; symulacja transportu neutronów w materiałach osłonowych z wykorzystaniem oprogramowania MCNPX;
- EDF SEPTEN (Villerbaune); dostosowanie metodyki obliczeń MES na podstawie wyników badań doświadczalnych dla materiałów inżynierskich stosowanych na komponenty obiegu pierwotnego PWR;
- Areva La Defense, wytwornice pary, wymienniki ciepła;
- CEA Cadarache, DER (Department of Reactor Studies); projektowanie zdarzeń projektowych;
- Laboratoire National Henri Becquerel; CEA Saclay - Spektrometria promieniowania *gamma* w badaniach skażeń środowiska (pomiar intensywności linii *gamma* Sb-125);
- ANDRA, Chatenay-Malabry/Paris; NORM/TENORM program.

Przeprowadzono także rozmowy na temat możliwości (w przyszłości) prawdopodobnej współpracy pomiędzy CEA lub I2EN z macierzystymi uczelniami edukatorów. Wskazano na możliwość współpracy młodych naukowców, doktorantów i po doktoracie, młodzieży po uzyskaniu tytułu inżyniera i magistra inżyniera w ramach m.in. International School in Nuclear Engineering – Cadarache, Grenoble, Saclay (CEA, INSTN, ENEN) oraz w ramach 7 EU Frame Programme – EUROATOM.



Fot. 6. Na budowie nowej elektrowni jądrowej z reaktorem EPR, Flamanville, 2009 r.

*dr inż. Wiesław Gorączko,
Politechnika Poznańska,
edukator energetyki jądrowej,
członek zarządu PTN,
Poznań*

Fotografie: Wiesław Gorączko



Fot. 5. II etap szkolenia, Saclay, grudzień 2010 r.



80-LECIE INSTYTUTU RADOWEGO W WARSZAWIE

Podczas 100. rocznicy odkrycia polonu i radu (w 1998 r.) uroczystie obchodzonej przez kraje całego świata, w tym również przez Polskę, obecni wówczas w Warszawie naukowcy – uczestnicy konferencji zorganizowanej przez Polską Akademię Nauk, a wśród nich wnuczka Marii Skłodowskiej-Curie – prof. Helena Langevin-Joliot, mieli okazję zwiedzić ten historyczny budynek Instytutu Radowego, będący obecnie filią Centrum Onkologii. Rok później Instytut odwiedziła córka Marii – Ewa Labouisse-Curie.

Dawny Instytut Radowy będzie obchodzić w maju 2012 r. jubileusz 80-lecia swojego istnienia. Dzieło Marii Skłodowskiej-Curie żyje, działa, świadcząc usługi onkologiczne na najwyższym, nowoczesnym, poziomie. Inicjatywa utworzenia w Warszawie Instytutu Radowego wzorowanego na paryskim Institut du Radium była największym marzeniem Marii Skłodowskiej-Curie, czemu osobiście wielokrotnie dawała wyraz i co zrealizowała.

Od momentu uzyskania przez Polskę niepodległości na szalę tego przedsięwzięcia Maria rzuciła cały swój autorytet i światową sławę. Angażowała do pracy organizacyjnej swoich przyjaciół i rodzinę, osobiście i poprzez sławnego w Ameryce Ignacego Paderewskiego, a później zaprzyjaźnioną dziennikarkę – Marię Meloney starała się rozbudzić ofiarność Polonii amerykańskiej i amerykańskich kobiet. Na jej życzenie i pod jej honorowym przewodnictwem powstała w 1921 r. jednostka prawna – Towarzystwo Instytutu Radowego, które zajęło się realizacją projektu. Na czele Rady Towarzystwa stanął Franciszek Czubalski, a w jej skład weszli m.in. brat i siostra Marii. W grudniu 1923 r. z okazji 25-lecia

odkrycia radu, Polski Komitet do Zwalczania Raka zwrócił się do społeczeństwa polskiego z apelem o zebranie funduszy na polski „Dar Narodowy dla Marii Skłodowskiej-Curie”. Darem tym, jak napisano w odezwie, winien stać się Instytut Radowy imienia Marii Skłodowskiej-Curie. W skład Komitetu Daru Narodowego, który powstał już w styczniu 1924 r., weszły czołowe osobistości ze świata politycznego, kulturalnego i naukowego kraju oraz siostra Marii – dr Bronisława Dłuska. Prezesem Komitetu został ówczesny prezydent Rzeczypospolitej – Stanisław Wojciechowski. Społeczeństwo całego kraju odpowiedziało na apel nadzwyczajną ofiarnością. Napływające dotacje, składki pieniężne i rzeczowe (np. w postaci materiałów budowlanych) pozwoliły na sfinansowanie projektu i rozpoczęcie prac budowlanych na parceli przy ulicy Wawelskiej, подарowanej Instytutowi przez Uniwersytet Warszawski. Uroczystość wmurowania aktu erekcyjnego, na którą przybyła Maria Skłodowska, odbyła się już w czerwcu 1925 r.

Zespół architektów (Z. Wóycicki i T. Zieliński) zaprojektował Instytut z rozmachem, umożliwiającym jego długoletnie funkcjonowanie. Miał się on składać z budynku szpitalnego, dla którego pawilon rentgenoterapii sfinansował Narodowy Bank Polski, budynku przeznaczonego na prace badawcze (fizyka, biologia) i budynku preparatyki ciał promieniotwórczych. Wszystkie szczegóły dotyczące struktury Instytutu i jego wyposażenia konsultowała osobiście Maria Skłodowska. Nad całością prac czuwała jej siostra – Bronisława Dłuska, która Instytutowi poświęcała nie tylko czas, ale i prywatne fundusze.

W dniu 29 maja 1932 r., ogłoszonym jako Dzień Nauki Polskiej, odbyło się uroczyste otwarcie budynku klinicznego Instytutu. Podczas tej uroczystości Maria Skłodowska oficjalnie przekazała Instytutowi ponad 1 gram radu zakupiony przez nią za fundusze zebrane przez kobiety amerykańskie i stowarzyszenia polonijne. W roku 1934, roku śmierci Marii, zakończono budowę i częściowe wyposażanie budynku badawczego oraz podjęto działalność naukową zgodną z propozycjami Marii Skłodowskiej, która planowała regularne przyjazdy do warszawskiej placówki.

Od tego czasu, poprzez dramatyczny okres okupacyjny, Instytut funkcjonuje – jest zarówno pomnikiem dzieła Marii Skłodowskiej – Polskiej Noblistki, jej przemyśleń i projektów, jak również jest pamiątką po wielkiej ofiarności społeczeństwa polskiego. W ciągu wielu lat zmieniał się sposób leczenia nowotworów i stosowane w tym celu metody, a w Instytucie tym wychowywały i kształciły się zastępy polskich onkologów. W latach dziewięćdziesiątych XX wieku uruchomiono kliniki, zakłady para kliniczne oraz zakłady naukowe w Centrum Onkologii na Ursynowie. Ten szpital przy ul. Wawelskiej 15 jest bowiem nie tylko pomnikiem i pamiątką, ale spełnia bardzo ważną rolę w walce z nowotworami, dysponując wy-



Fot. 1. Instytut Radowy - w dniu otwarcia 29.05.1932 r.

posażeniem i kadrą na najwyższym poziomie. Odbývają się tutaj również zajęcia z onkologii dla studentów polskich i zagranicznych studiujących na Warszawskim Uniwersytecie Medycznym.

W budynku głównym mieści się siedziba Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie oraz Sala Edukacyjna im. Bronisławy Dłuskiej-Sala Pamięci Marii Skłodowskiej-Curie.

Pomnik – brązowy odlew – dzieło Ludwika Krasskowskiej-Nitschowej – odsłonięty został 5 września 1935 r. przez żonę prezydenta Mościckiego w obecności znamienitych osobistości i mieszkańców Warszawy. Był darem mieszkańców Stolicy (zob. napis na cokole). Znajduje się w parku naprzeciw Kliniki Onkologii – budynku dawnego Instytutu Radowego.

W czasie wojny pomnik nie został zniszczony. Ślady po kulach na pomniku i cokole to pamiątka po symbolicznej śmierci zadanej Polskiej Uczonej przez żołnierzy okupanta. Pocisk ugodził w serce brązowej postaci dwukrotnej Laureatki Nagrody Nobla.

W 1997 r. pomnik poddano konserwacji, a ślady po kulach pozostawiono dla upamiętnienia jego wojennych losów. ■

*Alicja Rupińska,
Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie,
Warszawa*



MOST MARI SKŁODOWSKIEJ-CURIE

Pod koniec marca w stołecznych mediach można było przeczytać: „W ostatnią niedzielę na moście Marii Skłodowskiej-Curie znanym powszechnie jako Północny była tylko wstęga w miejskich barwach. W dodatku nie przeciął jej nożyczkami żaden VIP, tylko autobus siłą swojego ekologicznego silnika”.

5. kwietnia 2012 r. pojawiło się doniesienie:

„Ze wstępnych pomiarów wynika, że mostem Marii Skłodowskiej-Curie przejeżdża w szczycie ok. 3 tys. pojazdów na godzinę. To dużo, ale znacznie mniej niż na moście Grotta-Roweckiego. Zarząd Dróg Miejskich przeprowadził pomiary we wtorek. W porannym (godz. 7-8) i wieczornym (godz. 17-18) szczycie na moście ustawiły się ekipy liczące pojazdy. Wynik? Rano naliczono ok. 2300 pojazdów na jezdni w stronę centrum i ok. 600 jadących w przeciwnym kierunku. Po południu na Tarchomin wracało 2400 aut, a w stronę Młocin jechało prawie 1000 pojazdów. 94% wszystkich zarejestrowanych pojazdów to samochody osobowe”.

Zauważmy, że prasa używa już coraz częściej prawidłowej nazwy mostu. Warto więc, przypomnieć naszym Czytelnikom jak to z tą nazwą było.

1 grudnia Rada Miasta st. Warszawy przegłosowała wybór nazwy dla Mostu Północnego. Patronką mostu została podwójna noblistka, honorowa obywatelka naszego miasta, rodowita warszawianka – Maria Skłodowska-Curie. Za nadaniem tej nazwy głosowało 42 radnych, 5 osób było przeciw, 10 wstrzymało się od głosu.



Fot. Wojciech Głuszewski

Fot. 1. Most Marii Skłodowskiej-Curie – próby obciążenia

Popierając uchwałę Rady, prezydent Warszawy Hanna Gronkiewicz-Waltz powiedziała, że: nazwa dla mostu nie jest sprawą polityczną, kandydatka na patronkę nie jest ani z prawa, ani z lewa.

„Jestem przekonana, – dodała prezydent – że nazwa mostu szybko się w Warszawie przyjmie, przecież jak deklarowali warszawiacy w sondażu przeprowadzonym w zeszłym roku, aż 2/3 badanych chciało się o noblistce dowiedzieć więcej. Patronka nowego mostu może ich zainspirować do zdobywania wiedzy”.

Tego dnia prezentacje i wykład dla radnych o życiu i dokonaniach Marii Skłodowskiej-Curie wygłosił prof. Marek Krawczyk, rektor Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego, a poparcie dla uchwały w imieniu Polskiej Akademii Nauk odczytał prof. Michał Kleiber.

Podczas dyskusji nad wyższością nazwy dla nowego mostu głos zabrała przewodnicząca Rady Ewa Malinowska-Grupińska, która odczytała listę instytucji, które nadesłały do niej słowa poparcia dla nazwy „most Marii Skłodowskiej-Curie”. Były to m. in.: Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów, Rada Naukowa Narodowego Centrum Badań Jądrowych, Prezydium Polskiej Akademii Nauk, Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie oraz redakcja czasopisma „Postępy Techniki Jądrowej”. Obradom radnych przysłuchiwała się młodzież z 23 LO im. Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie. ■

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



Fot. Katarzyna Janusz

Fot. 2. Most Marii Skłodowskiej



WYJĄTKOWY ROK

Rok 2011 był rokiem wyjątkowym. Ogłoszony przez obie Izby Parlamentu Rzeczypospolitej Polskiej Rokiem Marii Skłodowskiej-Curie wpisywał się w Międzynarodowy Rok Chemii proklamowany przez ONZ i UNESCO z okazji 100. rocznicy przyznania Marii Skłodowskiej-Curie Nagrody Nobla w dziedzinie chemii. Polskie Towarzystwo Chemiczne (PTChem) i Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie były ze zrozumiałych względów głęboko zaangażowane w organizację obchodów Roku zarówno w Polsce, jak i za granicą. Pracownicy i przedstawiciele PTChem i Muzeum uczestniczyli w ponad 200 imprezach, współorganizując większość z nich, a były to, m.in.: konkursy wiedzy chemicznej, o życiu i dokonaniach naukowych Marii Skłodowskiej-Curie (adresowane dla uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych w Warszawie); konferencje naukowe dla młodzieży szkolnej, warsztaty i doświadczenia chemiczne dla licealistów, gimnazjalistów i uczniów szkół podstawowych. Wiele przedstawionych przedsięwzięć zostało wpisanych na stałe do programu edukacyjnego Muzeum. Realizowane były projekty edukacyjne związane z promowaniem opracowanej przez nas w 2010 r. trasy turystycznej pt. „Warszawskimi śladami MSC”.

Już po raz kolejny pracownicy muzeum włączyli się w obchody „Nocy Muzeów”, kiedy to odwiedziła nas rekordowa (ok. 7.000) liczba gości. Tę wysoką frekwencję niewątpliwie zawdzięczać można programowi edukacyjnemu dla dzieci i młodzieży, przygotowanemu wspólnie z Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej ICHTJ i Wydziałem Chemii UW. Miłośnicy muzeów mogli – zapoznać się z budową elektrowni jądrowej z masy solnej, jej wyposażeniem, poznać zasady działania, wielbiciele przygód wyruszyć na poszukiwanie skarbu. W programie były też pokazy sprzętu dozymetrycznego, prelekcje na temat szkodliwych dawek, gry i zabawy związane ze zjawiskiem promieniotwórczości. Oprócz zwiedzania muzeum, można było obejrzeć uliczny pokaz strojów z czasów Marii Skłodowskiej-Curie. Zaprezentowano przykłady XIX i XX wiecznych akcesoriów mody z Warszawy, Paryża, Ameryki, a także charakterystyczne ubrania noszone w laboratorium. Uczniowie warszawskich szkół odegrali scenki teatralne. Widzowie mogli podziwiać wystawę satyrycznych plakatów o Marii Skłodowskiej-Curie będących efektem konkursu firmy reklamowej AMS, odbył się również video *mapping* na budynku Muzeum zorganizowany przez miasto stołeczne Warszawa.

W ramach kolejnej edycji Festiwalu Nauki zostały zaproponowane jego uczestnikom zajęcia warsztatowe i wykłady.

W minionym roku nasi pracownicy odwiedzili ponad 100 miejscowości. Wizyty odbyły się w szkołach, bibliotekach, domach kultury, uniwersytetach III wieku, uczelniach wyższych, tam też wygłoszono wykłady, zorganizowano konkursy, zasiadano w jury. W salach muzeum odbyło się szereg imprez, m.in.: koncerty, odczyty, wystawy, uroczystości wręczenia nagród, wydano kilka nowych pozycji książkowych (książki są do

nabycia w muzeum) zrealizowano trzy filmy dokumentalne.

W ramach współpracy z kilkudziesięcioma polskimi placówkami za granicą m.in.: w Tajlandii, Indiach, Japonii, Indonezji, Rosji, Portugalii, Hiszpanii, Francji, Bułgarii, Niemczech, Austrii, na Kubie, we Włoszech wypożyczane lub współorganizowane były wystawy (w samej tylko Belgii odbyło się ponad 20 imprez). Efektem tej aktywności była zmiana nazwy stypendiów UE z „Marie Curie Actions” na „Marie Skłodowska-Curie Actions”, (oczywiście jest to efekt pracy wielu osób, głównie ambasadorowej Agnieszki Tombińskiej, eurodeputowanego Jacka Saryusza Wolskiego, Janusza Lewandowskiego i innych).

W obchody roku 2011 włączyli się także ogrodnicy, hodowcy róż i powojnika. Wyhodowano bowiem nowy gatunek *clermatisu* oraz przepiękną różę, którym nadano imię Marii Skłodowskiej-Curie. Rośliny hodowane w Polsce prezentowane są na wielu wystawach, także poza granicami Polski, a nadawane im nazwy nawiązują do imion wielkich Polaków rozślawiając imię Polski.

Uroczystości Roku Marii Skłodowskiej-Curie obchodzone były nie tylko w świecie naukowym, ale także w rodzinnym mieście uczzonej, w Warszawie, gdzie powstało wiele murali i inicjatyw ulicznych instalacji czasowych przypominających i informujących o związkach Marii Skłodowskiej-Curie z Warszawą, nazywanej przez nią samą „kochaną Warszawką”. Pierwszy mural powstał, jeszcze w grudniu 2010 r. jako wprowadzenie do akcji promocyjnej miasta Warszawy pt.: „Urodziłam się w Warszawie” przy ul. Lipowej niedaleko nowego gmachu Biblioteki Uniwersytetu Warszawskiego, następny przy stacji metra Centrum, gdzie mieścił się dworzec kolei warszawsko-wiedeńskiej, z którego w 1891 r. młoda Maria Skłodowska odjechała na studia do Paryża, kolejne murale umieszczono na ścianie budynku Instytutu Onkologii (dawnej Radowego) przy ul. Wawelskiej 15, przy ul. Nowolipki 11 (oczywiście współczesna zabudowa odbiega od tej XIX wiecznej), w budynku II Rządowego Męskiego Gimnazjum, gdzie od 1868 r. mieszkała rodzina Skłodowskich.

W tym roku wśród naszych gości znalazły się osoby zupełnie wyjątkowe, król i królowa Szwecji, prezydent Warszawy, laureat Nagrody Nobla z Tajwanu, żona premiera Francji, minister wojska Chin wraz z najważniejszymi generałami tego kraju, wnuk Marii i Piotra Curie z małżonką. Goście odwiedzili między innymi Centrum Nauki Kopernik, Muzeum Fryderyka Chopina oraz Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie.

W sumie odwiedziło nas w tym roku ok. 35.000 osób (w tym ok. 20.000 uczniów oraz wiele osób z zakładów karnych, domów dziecka, placówek psychiatrycznych, domów pomocy społecznej) odbyło się ok. 500 projekcji filmowych. Miniony rok obfitował w bardzo liczne wydarzenia.

Szczegóły znajdziecie Państwo na stronie internetowej <http://muzeum.fizyka.pw.edu.pl/>

Wybór imprez w organizowaniu których brało udział Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie:

Styczeń

27.01.2011 Podjęcie przez (w grudniu 2010 r.) sejm i senat RP uchwały ogłaszającej rok 2011, Rokiem Marii Skłodowskiej-Curie, prezentacja wystawy biograficznej o Marii Skłodowskiej-Curie

- wykonanej przez Muzeum MSC, PTChem oraz Archiwum PAN

20.01.2011 Mazowieckie Forum dla Nauczycieli „W 100. rocznicę Nagrody Nobla”

- odbyło się w siedzibie Muzeum MSC, i PTChem

Przeprowadzanie kursów dla pilotów wycieczek, przewodników i nauczycieli

- w Muzeum MSC

Akcja „Urodziłam się w Warszawie”, akcja murali warszawskich

- prowadzona z Departamentem Promocji Miasta Warszawy, Good Looking Studio oraz Muzeum MSC i PTChem

Akcja informacyjna w warszawskim metrze oraz na lotnisku im. Fryderyka Chopina

Nagranie audio przewodnika pt. „Warszawskimi śladami Marii Skłodowskiej-Curie”

- we współpracy z Departamentem Promocji Miasta Warszawy

Marzec

8.03.2011 Sesja na Wydziale Chemii UW, nadanie imienia Marii Skłodowskiej-Curie jednej z sal na Wydziale Chemii UW, otwarcie wystawy biograficznej pt. „Życie i dokonania Marii Skłodowskiej-Curie”

- zorganizowana przez Muzeum, MSC, PTChem i Archiwum PAN oraz wystawy wykonanej przez ambasadę Francji

09.03.2011 Otwarcie Targów Eurolab, prezentacja wystawy poświęconej uczonej

- wykonanej przez Muzeum MSC, PTChem, Archiwum PAN

16.03.2011 Mazowieckie Forum Nauczycieli Przedmiotów Przyrodniczych „Poznać chemię. Zrozumieć przyrodę”

- na Wydziale Inżynierii Chemii Procesowej Politechniki Warszawskiej

Nagrania dla radia i telewizji, m.in. program „Saga Rodów”

Marzec-czerwiec 2011 Konkurs wiedzy chemicznej i wiedzy o Marii Skłodowskiej-Curie dla uczniów w Warszawie

- pod honorowym patronatem prezesa PTChem zorganizowany przez Muzeum MSC, PTChem, XXIII LO im. Marii Skłodowskiej-Curie

24.03.2011 Konferencja dla młodzieży gimnazjalnej i ponadgimnazjalnej pt. „Maria Skłodowska-Curie – dwukrotna noblistka i jej wkład w powstanie nowych dziedzin nauki”

- pod honorowym patronatem prezesa PAN, prof. Michała Kleibera oraz prezesa PTChem prof. Bogusława Buszewskiego zorganizowana przez Muzeum MSC, PTChem, Archiwum PAN

Wykłady w Uniwersytetach III Wieku

Marzec-czerwiec, październik-grudzień „Wtorkowe zabawy z chemią”

- w Muzeum, PTChem

04.05.2011 Z oficjalną wizytą w Polsce przebywała szwedzka Para Królewska, król Gustaw Karol XVI z małżonką, królową Sylwią

- zorganizowała Kancelaria Prezydenta RP oraz ambasada Szwecji

Maj

Spotkanie Stowarzyszenia KARAN, „Wierzę w przyszłość mojego narodu”

- zorganizowane przez Barbarę Wachowicz i Muzeum MSC, PTChem

14.05.2011 Noc Muzeów

- zorganizowano wspólnie z ICHTJ

Maj, sierpień Wydanie książek o Marii Skłodowskiej-Curie

Maria Skłodowska-Curie – seria Wielcy Ludzie, wydawnictwo MULTICO, (jęz. polski), pozycja dla dzieci

Maria Skłodowska-Curie, kobieta wyprzedzająca epokę, wydawnictwo MULTICO, (jęz. polski i angielski w jednym wydaniu)

Fotobiografia Marii Skłodowskiej-Curie, wydawnictwo EMKA, (jęz. pol., ang., franc., niem. w jednym wydaniu)

Spacerownik Śladami MSC, Gazeta Wyborcza (jęz. pol. i ang. w jednym wydaniu)

W poszukiwaniu światła. Opowieść o Marii Skłodowskiej-Curie, wydawnictwo Bernardinum (jęz. pol.)

Maj Otwarcie nowej części ekspozycji (laboratorium Marii i Piotra Curie)

- w muzeum MSC

20.05.2011 Obchody Światowego Dnia Metrologii

- odbyły się w Głównym Urzędzie Miar pod honorowym patronatem ministra gospodarki, Waldemara Pawlaka, referaty wygłosili: Misja chemii w początkach XXI wieku – prof. dr hab. Janusz Lipkowski PAN, Działalność Instytutu Materiałów Odniesienia i Pomiarów Unii Europejskiej – prof. Krzysztof Maruszewski z IRMM, Rola warszawskiej chemii uniwersyteckiej na tle doniosłych rocznic i wyzwań współczesności – prof. dr hab. Paweł Kulesza, dziekan wydziału Chemii UW, życie i dokonania Marii Skłodowskiej-Curie – Małgorzata Sobieszcak-Marciniak

19-20.05.2011 Konferencja pt. „Wiek po Marii Skłodowskiej-Curie. Emancypacja kobiet w Polsce i we Francji”

- zorganizowana przez Gender Studies, Instytut Badań Literackich, Instytut Francuski pod honorowym patronatem prezydenta m. st. Warszawy, prezesa Polskiej Akademii Nauk, ambasadora Francji; patronat naukowy objęła prof. Maria Janion i prof. Karol Modzelewski

Konkurs na scenki o Marii Skłodowskiej-Curie dla gimnazjów warszawskich

26.05.2011 Otwarcie ścieżki edukacyjnej przed Instytutem Onkologii

- współpraca Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie, Dzielnicy Ochota, m. st. Warszawy pod patronatem honorowym prezydent Warszawy, Hanny Gronkiewicz-Waltz

04.06.2011 Spektakl pt. „Życie w listach” przygotowany przez Salon Teatru Polskiego w Centrum Nauki Kopernik

- czytali aktorzy Teatru Polskiego: Izabela Kuna, Sławomir Głazek, Marta Alaborska, Dominik Łoś

Czerwiec

Akcja edukacyjna dla młodzieży gimnazjalnej i licealnej

- zorganizowana przez Tramwaje Warszawskie, Muzeum MSC, PTChem, Instytut Chemii Organicznej, m. st. Warszawa

07.06.2011 Konferencja z Senacie RP z okazji Międzynarodowego Roku Chemii i Roku Marii Skłodowskiej-Curie pt. „Chemia w rozwoju i postępie cywilizacji”

- organizatorzy: Senat RP, PTChem, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i Polską Akademię Nauk

Konferencji towarzyszyła wystawa prezentująca dorobek i życie Marii Skłodowskiej-Curie oraz „Kamienie milowe polskiej chemii”

- przygotowana przez Wydział Chemii Uniwersytetu A. Mickiewicza w Poznaniu

Wygłoszono referaty na temat życia i dokonań Marii Skłodowskiej-Curie

- konferencję otworzył prezes PAN, prof. dr hab. Michał Kleiber

17.06.2011 Konferencja pt. „Wybitne osiągnięcia źródłem inspiracji dla wynalazców – w 100-lecie II Nagrody Nobla Marii Skłodowskiej-Curie”

- zorganizowana przez Główny Urząd Patentowy, Muzeum MSC, PTchem i Centralną Bibliotekę Rolniczą pod honorowym patronatem ministra szkolnictwa wyższego i marszałka województwa mazowieckiego. W konferencji brali udział zastępca prezesa Urzędu Patentowego RP, Sławomir Wachowicz, Hanna Trojanowska, pełnomocnik rządu ds. polskiej energetyki jądrowej, podsekretarz stanu w Ministerstwie Gospodarki, prof. dr hab. Andrzej Czerwiński z Wydziału Chemii UW, prof. dr hab. Jan Pluta z Instytutu Fizyki PW, prof. dr hab. Andrzej Kułakowski wiceprezes Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie, dr Wojciech Głuszewski, z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, dyrektor CBR, Ryszard Miasek, Małgorzata Sobieszczak-Marciniak

27.06.2011 Otwarcie wystawy pt. „RadioAktywna i PromienioTwórcza Maria Skłodowska-Curie” przed Ratuszem

- zorganizowanej przez m. st. Warszawa, Urząd Dzielnicy Ochota, przy współpracy Muzeum, PTChem, Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie. Patronat honorowy nad wystawą objęła przewodnicząca Rady Miasta Stołecznego Warszawy

Sierpień

Zarząd Transportu Miejskiego wprowadził do obiegu Kartę Miejską z wizerunkiem Marii Skłodowskiej-Curie, z okazji 100-lecia przyznania uczonej II Nagrody Nobla i Roku Marii Skłodowskiej-Curie.

27.08.2011 Koncert chopinowski w Muzeum MSC

- zorganizowany przez Muzeum, PTChem, Stowarzyszenie Fryderyka Chopina, Dom w Żelazowej Woli, ambasadę Chińską. W programie znalazły się utwory F. Chopina, I.J. Paderewskiego, utwory kompozytorów chińskich. Solistką była artystka z Chin, absolwentka Uniwersytetu Muzycznego w Warszawie, Y.LEE.

26.08.2011 Uroczystość nadania imienia Marii Skłodowskiej-Curie nowemu gatunkowi powojnika podczas otwarcia 19 Międzynarodowej Wystawy – „Zieleń to życie”

- aktu nadania imienia dokonała żona prezesa Polskiej Akademii Nauk, Teresa Sukniewicz-Kleiber. Wśród zaproszonych gości znaleźli się m.in. attache ds. nauki i technologii ambasady Republiki Francji, minister rolnictwa, prezes PAN, przedstawiciele rodziny Marii Skłodowskiej-Curie

28.08.-02.09.2011 XIV Międzynarodowy Kongres Badań Radiacyjnych

- zorganizowany przez Towarzystwo Badań Radiacyjnych

09.09.2011 Spotkanie w Czytelnicy Naukowej w Dzielnicy Włochy z cyklu Porwanie Europy. Obywatelka Europy: Maria Skłodowska-Curie

- zorganizowane przez Fundację ART i Bibliotekę Publiczną w Dzielnicy Włochy m.st. Warszawy

Wrzesień – Październik

Projekt Fundacji Art, Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej i Muzeum MSC, Polskiego Towarzystwa Chemicznego, pt. „Krokami Marii Skłodowskiej-Curie”

- adresowany do dzieci z warszawskich szkół podstawowych, klas IV-VI

11.09.2011 W Brwinowie niedaleko Warszawy w ramach Europejskich Dni Dziedzictwa nadano imię profesora Wacława Wernera Bibliotece Miejskiej

- na uroczystości, w rodzinnym domu Państwa Wernerów przy ul. Słonecznej 3 przybyli syn i córka prof. Wernera, rodzina i przyjaciele, władze Brwinowa, przedstawiciele szkół oraz mieszkańcy miasta

14.09.2011 Uroczystość wmurowania kamienia węgielnego pod budowę przedszkola integracyjnego dla dzieci niepełnosprawnych Sue Ryder w Helenowie – Międzyzlesiu.

- w uroczystości wzięły udział dzieci i młodzież z helenowskich szkół oraz zaproszeni goście, a wśród nich dyrektor Fundacji, dyrektor Biura Edukacji Miasta Warszawy, przedstawiciel Rzecznika Praw Dziecka, przedstawiciel kuratorium, rodziny Marii Skłodowskiej-Curie w osobie Pani Genowefy Skłodowskiej, dyrektor Muzeum MSC Małgorzata Sobieszczak-Marciniak. Sprawczym duchem całości przedsięwzięcia był dyrektor Centrum Rehabilitacji, Edukacji i Opieki TPD „Helenów”, Zbigniew Drzewiecki

17.09.11 -18.09.2011 III Międzynarodowy Kongres Kobiet w Pałacu Kultury i Nauki w ramach polskiej prezydencji pod hasłem Kobiety dla Polski, Polska dla Kobiet. Drugiego dnia odbył się panel na temat Marii Skłodowskiej-Curie, pt. „Bo była kobietą”

- w którym uczestniczyły prof. Magdalena Środa, Barbara Kudrycka, Krystyna Janda, Marta Meszaros

17.09-25.09.2011 W czasie tegorocznego Festiwalu Nauki, w Muzeum MSC odbywały się pokazy

- zorganizowany wspólnie z PTChem

Wrzesień-październik Wystawa plenerowa ukazująca historię i współczesne działanie Polskiego Towarzystwa Chemicznego oraz Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie

- na Politechnice Warszawskiej, zorganizowana przez Bibliotekę PW oraz Muzeum MSC i PTChem

25.09.2011 Projekt „Laboratorium Marii Skłodowskiej-Curie”, który obejmował wystawę „Maria Skłodowska-Curie kobieta, matka, naukowiec”

- zorganizowana w Wawrze przez Klub Kultury „Zastów” wspólnie z Muzeum MSC i konkurs na limeryki

29.09.2011 Inauguracja Roku Akademickiego w College of Europe w Natolinie

- gościem specjalnym był Mr Jose Manuel Barroso, przemówienia wygłosili Mr Jacek Saryusz-Wolski, Mr Paul Demaret, Ms Ewa Ośniecka-Tamecka. Uroczystości towarzyszyła biograficzna wystawa planszowa - wykonana przez Muzeum MSC i Archiwum PAN

Październik

Zjazd stypendystów Marii Curie Actions

- (obecnie dzięki staraniom polskich placówek dyplomatycznych i naukowych – Marii MSC Actions) w Warszawie

4-6.10.2011 W Parlamencie Europejskim w Brukseli prezentowano wystawę pt. „Maria Skłodowska-Curie w służbie nauki wczoraj i dziś”

- zorganizowana dzięki staraniom posłanki do Parlamentu, Pani Jolanty Hibner wraz z Politechniką Warszawską, Muzeum MSC i PTChem, ICHTJ, Narodowym Centrum Badań Jądrowych

Październik – grudzień

Akcja edukacyjna „Po-Ra na chemię czyli Międzynarodowy Rok Chemii w Centrum Hewelianum” w Gdańsku podczas, której odbyły się: wystawa „Życie i dzieło MSC”

- przygotowana przez Muzeum MSC, warsztaty chemiczne „Ca-Fe Chemia”, przy wsparciu Fundacji Orange

18.10.2011 Otwarcie wystawy pt. „Chemicy – absolwenci Uniwersytetu Warszawskiego”

- zorganizowanej przez Bibliotekę UW przy współpracy Muzeum MSC i PTChem

25 listopada 2011 Uroczystość zakończenia Roku Marii Skłodowskiej-Curie (MSC100) na Zamku Królewskim w Warszawie album o Marii Skłodowskiej-Curie

- wydany przez Dom Promocyjno Wydawniczy Gal we współpracy z Muzeum MSC i PTChem

Zaprezentowano także znaczek okolicznościowy, kartę i kopertę pierwszego obiegu oraz specjalny katalog wydany przez Poczta Polską i Szwedzką, poświęcony Marii Skłodowskiej-Curie

14.12.2011 Uroczystość wręczenia nagród kobietom za dokonania naukowe przez prezydenta RP, Bronisława Komorowskiego

- wystawę przygotowało Muzeum MSC, PTChem

14.12.2011 Premiera „Wirtualnej Marii Skłodowskiej-Curie” w ramach wystawy „Maria Skłodowska-Curie – kobieta niezwykła” na Politechnice Gdańskiej.

- patronat nad projektem fido-intelligence objęło Muzeum MSC i Polskie Towarzystwo Chemiczne

14.12.2011 Premiera filmu Krzysztofa Roguskiego pt. „Śladami Marii Curie”

- w roli uczoney wystąpiła Elizabeth Duda, wątkom fabularnym towarzyszyły wywiady z wnuczką Marii Skłodowskiej-Curie, prof. H. Langevin oraz ludzi nauki

15.12.2011 W siedzibie Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie i Polskiego Towarzystwa Chemicznego otwarto wystawę czasową pt. „Polskimi śladami MSC i jej przodków”

20.12.2011 W Zamku Królewskim odbył się koncert

- pod honorowym patronatem małżonki prezydenta RP, Anny Komorowskiej zatytułowany „W hołdzie Marii Skłodowskiej-Curie”. W programie znalazły się utwory M. Szymanowskiej, G. Bacewicz oraz M. Ptaszyńskiej, koncert zorganizował Oddział Warszawski SPAM, Zamek Królewski w Warszawie, Muzeum MSC, PTChem

27.12.2011 Premiera filmu Alicji Albrecht pt. „Maria”

- w II programie TVP. ■

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



THE NATURE O OPERZE „MARIA CURIE”

The Nature, opiniotwórczy tygodnik, który zaczyna każdy numer od szerszego spojrzenia na naukę, umieścił w numerze datowanym 1 grudnia 2011r. artykuł o operze „Maria Curie”, napisany przez Stefana Michałowskiego, podpisanego jako „former particle physicist”, obecnie sekretarz OECD Global Science Forum w Paryżu i dziennikarkę paryską Georgie Smith.

Opera została wystawiona w siedzibie UNESCO w Paryżu 15 listopada, w ramach Międzynarodowego Roku Chemii, a następnie w Gdańsku (23-26 listopada). By zwiększyć dramatyzm utworu, autorzy opery znów wracają do nieudowodnionej przyczyny śmierci Marii jakoby spowodowanej narażeniem na promieniowanie jonizujące. Wiadomo, że dopóki rodzina Marii nie cofnie zakazu prostego radiochemicznego zbadania szczątków spoczywających w Panteonie oraz analizy materiałów medycznych, jeżeli takie istnieją, nie można wyciągać żadnych wniosków dotyczących powiązania zdrowia Marii Skłodowskiej-Curie z promieniowaniem (oprócz oparzeń czubków palców). Jak opisuje the Nature, sopran Anna Mikołajczyk (tu barwne zdjęcie) do akompaniamentu atonalnej muzyki, śpiewa na początek, w nocnej koszuli (!), słynny list Akademii Szwedzkiej radzący Marii, aby nie przyjeżdżała do Sztokholmu po odbiór Nagrody Nobla.

Dalej autorzy słusznie nie chcą zaakceptować jednej ze scen opery, w której pojawia się Albert Einstein grożący Marii, że z jej pracy wyniknąć mogą straszliwe konsekwencje i wzywa ją do zaprzestania prac! Pojawia się na scenie grzyb atomowy zupełnie jak w propagandzie komunistycznej w czasie zimnej wojny w okresie 1945-1949, gdy Rosjanie nie mieli jeszcze swojej bomby i musieli nadrabiać straszaniem.

Autorki opery, panie Elżbieta Sikora (muzyka) i librecistka (Agata Miklaszewska) nie muszą znać się na nukleonice, ale wystarczy by telefonicznie skontaktowały się z kimś ze specjalistów w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie (Jednostka Badawczo Rozwojowa kontynuująca dzieło Marii Skłodowskiej-Curie). Przekonałyby się, że dzieło Marii i jego konsekwencje nie miało nic wspólnego z bombą atomową, a prace nad łańcuchowym rozszczepieniem jąder uranu zaczęły się w Niemczech, po śmierci Marii, a w końcowym efekcie osiągniętym przez Wolny Świat doprowadziły do uratowania naszej cywilizacji.

Ciekawe, z której części budżetu RP sfinansowana została opera, czyżby kultury? Bo chyba nie Dziedzictwa Narodowego! Trzeba gorzko wyrazić zadowolenie, że kończy się już rok Marii Skłodowskiej-Curie, bo nie wiadomo, co jeszcze komuś przyszłoby do głowy dla uczczenia (?) Wiel-

kiej Rodaczki, ośmieszając nas przy okazji, że o moście na Wiśle w Białoleścu, litościwie dla rajców stołecznego Miasta Warszawy, nie wspomnę.

1. "Kitsch, the world of bad taste", monografia zbiorowa pod redakcją Gillo Dorfles, 313 stron, 276 ilustracji, Studio Vista Limited, London, 1969, trzeci reprint 1975. ■

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



FOTOBIOGRAFIA MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE NA GIEŁDZIE PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH

Maria Skłodowska-Curie odebrała Nagrodę Nobla z Chemii 10 grudnia 1911 r. w Sztokholmie. Dokładnie dzień przed 100. rocznicą tego wydarzenia na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie odbyło się spotkanie z autorami albumu „Maria Skłodowska-Curie – Fotobiografia”. Pięknie wydany wolumin ukazał się nakładem wydawnictwa Studio Emka. Jest to staranie dobrany zbiór zdjęć dokumentujących historię życia uczzonej. Autorzy poświęcili wiele czasu, aby mało znane fotografie odnaleźć, skatalogować, a później, dzięki obróbce cyfrowej ponownie nanieść na papier.

Fotobiografia to zapis z historii życia wybitnej Polki opowiedziany inaczej, bo za pomocą zdjęć, które ukazują prywatne życie Noblistki, kobiety o niepospolitym umyśle i wyjątkowej sile charakteru. Fotobiografia to nowatorska forma publikacji, pozbawiona subiektywnego komentarza, pozostawia czytelnikowi pole do interpretacji i pozwala wniknąć w intymny świat kreowanej postaci.

Oglądając zatrzymane w kadrze obrazy, cofamy się w czasie i na nowo wspominamy ważne momenty z życia Marii Skłodowskiej-Curie. Świat ukryty w obrazach towarzyszy jej w nauce, pracy, miłości i macierzyństwie. Z pewnością wiemy, gdzie wraz z rodziną Alberta Einsteina spędziła wakacje, kiedy pierwszy raz odwiedziła Zakopane oraz jakie były jej ulubione trasy wycieczek rowerowych. dopełnieniem obrazów są fragmenty jej listów i zapiski wybrane przez Małgorzatę Sobieszczak-Marciniak dyrektor muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie. Teksty zostały opracowane w trzech wersjach językowych: polskiej, francuskiej i angielskiej. Twórcę koncepcji i oprawy graficznej albumu, Macieja Sadowskiego zainspirowały słowa przyjaciela, wybitnego reportera, Ryszarda Kapuścińskiego: „Druk i fotografia konkurują ze sobą, walczą o naszą



Fot. 1. Okładka albumu „Maria Skłodowska-Curie – Fotobiografia”

uwagę. Ale walka jest nierówna: fotografia wygrywa, pochłania nas bez reszty. Wielokrotnie wracamy do zdjęć, wczuwamy się w ich nastrój, wpatrujemy w szczegóły, zapamiętujemy krajobrazy i twarze”. Spotkanie poprowadziła Krystyna Czubówna. Obecny był również prezes Giełdy Papierów Wartościowych Ludwik, Sobolewski, który jak sam mówił, zafascynowany postacią Marii Skłodowskiej-Curie z przyjemnością pomógł w organizacji wernisażu. Znako- micie wydany album można śmiało polecić jako świetny prezent na każdą okazję. ■

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



UDZIAŁ UCZNIÓW GIMNAZJUM TWP W CIECHANOWIE W OBCHODACH ROKU MARII SKŁODOWSKIEJ- CURIE

Międzynarodowy Rok Chemii wyznaczono nieprzypadkowo na 2011 r. Podjęty został uchwałą Zgromadzenia Ogólnego Narodów Zjednoczonych spośród kilku kandydatów obchodów. W tym roku bowiem przypadała 100. rocznica otrzymania drugiej Nagrody Nobla przez Marię Skłodowską-Curie. Dla upamiętnienia dokonań naukowych naszej wybitnej Rodaczki, również Sejm Rzeczypospolitej Polskiej podjął uchwałę w sprawie ustanowienia roku 2011 Rokiem Marii Skłodowskiej-Curie. W związku z tą rocznicą w szkołach w całym kraju organizowane były rozmaite uroczystości, konkursy, apele mające na celu przybliżenie sylwetki i działalności naukowej słynnej noblistki. Uczniowie Gimnazjum Towarzystwa Wiedzy Powszechnej w Ciechanowie przygotowali na tę okazję projekt edukacyjny pt. „Jak nasza szkoła włącza się w obchody Roku Marii Skłodowskiej-Curie”. Jego realizację zaplanowano w kilku etapach:

- etap pierwszy – udział w konkursie „Maria Skłodowska-Curie: życie i działalność”,
- etap drugi – zapoznanie się z dokonaniem naukowym rodziny noblistów,
- etap trzeci – przeprowadzenie doświadczeń wzorem tych, wykonywanych przez noblistkę wraz z uczniami w założonej przez siebie szkole.

W ramach pierwszego etapu, było przystąpienie do konkursu, skierowanego do uczniów szkół gimnazjalnych i ponadgimnazjalnych. Udział w nim polegał na rozwiązaniu testu składającego się z 50 pytań z zakresu życia i działalności naukowej Marii Skłodowskiej-Curie. Test zamieszczono później na portalu internetowym Moodle Biblioteki Pedagogicznej w Ciechanowie. Aby udzielić odpowiedzi na pytania, uczniowie musieli zapoznać się z obszerną literaturą. Konfrontacja wiedzy nastąpiła w momencie wysłania testu do sprawdzenia drogą elektroniczną. Warunkiem udziału w konkursie było indywidualne przystąpienie do niego każdego z członków zespołu. Pozostałe przedsięwzięcia wykonywane były już grupowo.

Ważnym elementem drugiego etapu były pomysły projektów, które rodziły się wraz z osiąganiem kolejnych stopni wtajemniczenia w dokonania naukowe rodziny noblistki. Rezultatem tych badań była: prezentacja multimedialna, wizualizująca dokonania najwybitniejszej z Polek oraz jej najbliższej rodziny. Istotny jest fakt, że aż pięciu osobom z rodziny przyznano Nagrodę Nobla. W prezentacji w oryginalny sposób za pomocą drzewa genealogicznego udokumentowano ich postaci, Marię Skłodowską-Curie, jej męża Piotra, starszą córkę Irenę Joliot-Curie wraz z mężem Fryderykiem Joliot, (który rok po śmierci Marii, wspólnie otrzymali nagrodę Nobla za odkrycie sztucznej promieniotwórczości), a także

Henryka *Labouisse'a* męża – młodszej córki Ewy – przewodniczącego UNICEF, laureata Pokojowej Nagrody Nobla. Rodzina Curie zgromadziła pokaźną liczbę nagród Nobla o czym świadczą słowa młodszej córki Marii-Ewy, która żartobliwie mawiała: „*W mojej rodzinie było pięć Nagród Nobla. Dwie dla matki, jedna dla ojca, jedna dla siostry i szwagra oraz jedna dla męża. Tylko mnie się nie udało...*”

Najciekawszym trzecim etapem będącym przedmiotem projektu były doświadczenia na wzór tych, które przeprowadzała Maria Skłodowska-Curie wraz z uczniami. Inspiracją dla uczniów była lektura książki *Lekcje Marii Skłodowskiej-Curie*. Notatki Isabelle Chavannes z 1907 r., w której opisane są zajęcia dydaktyczne przeprowadzane przez noblistkę w szkole, której była założycielką. Podobno bodźcem do stworzenia takiej szkoły był ówczesny przestarzały, niewydolny francuski system edukacyjny.

Zadanie uczniów polegało na zaprezentowaniu kilku prostych doświadczeń, które na lekcjach fizyki wykonywała Maria Skłodowska-Curie, a odnoszących się do prawa Pascala i Prawa Archimidesa. Tematy lekcji przeprowadzonych przez uczoną, do których nawiązali uczniowie brzmiały: Odkrywamy, że powietrze ma swój ciężar oraz Odróżnianie próżni od powietrza. Aby przeprowadzić zaplanowane eksperymenty, gimnazjaliści posłużyli się przyrządami obecnie dostępnymi w naszym życiu tj. plastikowe butelki, fiolki po aromatach do ciast, słomki do napojów, strzykawki. Przykładowe pakiety tematyczne realizowanych przez uczniów doświadczeń miały nazwy: Fontanna Herona, Nurek Kartezjusza, Tornado w butelce, Prasa hydrauliczna. Podczas doświadczeń pokazowych uczniowie uczyli się bawiąc. Zwolenniczką właśnie takich metod nauczania była sama Skłodowska-Curie.

Zespół projektowy, działający pod nadzorem opiekunów Teresy Stryjewskiej i Wojciecha Zalewskiego, stanowili uczniowie klasy IIa Gimnazjum TWP w Ciechanowie: Anna Dobrowolska, Marta Kołakowska, Danuta Nałęcz, Zofia Szymańska, Damian Dobrowolski, Ernest Racki.

Zgodnie z założeniami zawartymi w prawie oświatowym, uczniowie zobligowani byli do publicznego przedstawienia rezultatów projektu. Swoją pracę udokumentowaną w prezentacji multimedialnej i film obrazujący przeprowadzone doświadczenia mieli możliwość zaprezentować na konferencji „PoRa na Marię. Promieniotwórczość wokół nas” zorganizowanej dla nauczycieli przedmiotów przyrodniczych przez Mazowieckie Samorządowe Centrum Doskonalenia Nauczycieli Wydział w Ciechanowie. W planach uczniów jest również pokaz projektu społeczności szkolnej na apelu.

■

Teresa Stryjewska
opiekun,
Ciechanów

Fot. Teresa Stryjewska



Fot. 1. Uczniowie Gimnazjum TWP w Ciechanowie



POZNAJ ATOM

29 marca w gmachu Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie odbyła się konferencja prasowa Ministerstwa Gospodarki, która zainaugurowała dwuletnią, ogólnopolską kampanię informacyjno – edukacyjną na temat energetyki jądrowej.

W spotkaniu uczestniczyła pełnomocnik rządu ds. polskiej energetyki jądrowej wiceminister gospodarki Hanna Trojanowska. Przedstawiając podstawowe cele kampanii podkreśliła, że powinna mieć ona charakter dialogu ze społeczeństwem. Poznanie obaw Polaków pozwoli rozwiązać wiele mitów na temat energetyki jądrowej, co przyczyni się do stonowania emocji, jakie dotąd towarzyszyły dyskusjom o atomistyce. Ministerstwu zależy na tym, aby pierwsza polska elektrownia jądrowa powstała przy aprobachie społeczeństwa. Jednak, aby było to możliwe, Polacy muszą mieć dostęp do aktualnych i rzetelnych informacji na temat tego przedsięwzięcia.

Kampania ma pomóc taką wiedzę uzyskać zgodnie z jej hasłem: „chcemy rozmawiać o Polsce z energią”. Priorytetem będzie dotarcie do jak największej grupy Polaków. W kampanii wykorzystany zostanie szeroki wachlarz środków komunikowania się ze społeczeństwem: telewizja, radio, Internet, prasa drukowana. Kanały komunikacji będą dopasowane do charakterystyki wybranych grup oraz zdiagnozowanych w badaniach deficytów wiedzy. Jednym z założeń kampanii jest, by pokazując nieznaną powszechnie, a jednocześnie bardzo ciekawe fakty na temat atomistyki, zaintrygować Polaków i zachęcić ich do dalszego poszukiwania nowych informacji.

Miejsce, które umożliwi znalezienie odpowiedzi na nurtujące pytania, jest dedykowany kampanii portal internetowy (www.poznajatom.pl). Ze względu na merytoryczny charakter kampanii i troskę o to, aby przekazywana Polakom wiedza był rzetelna i aktualna, powołano koalicję ekspertów na rzecz energetyki jądrowej. Wśród członków koalicji znajdują się przedstawiciele najważniejszych ośrodków naukowych w kraju, które od lat prowadzą badania w zakresie energetyki jądrowej, a także uczestniczą w międzynarodowych projektach mających na celu rozwój tej dziedziny.

W konferencji uczestniczył również były minister środowiska prof. Andrzej Kraszewski. Zwrócił on uwagę, że energetyka jądrowa jest ważnym elementem planu energetycznego dla Polski. Paradoksalnie opcja atomowa będzie dobrym uzupełnieniem tzw. zielonych metod pozyskiwania energii w szczególności energetyki wiatrowej. Minister, krótko odniósł się do decyzji Niemiec o rezygnacji z energetyki jądrowej. Wyraził opinię, że odnawialne źródła energii w przypadku naszego zachodniego sąsiada mogą okazać się niewystarczające i kosztowne. Następnie krótko omówiono wyniki badań akceptowalności energetyki jądrowej, wśród naszego społeczeństwa, przeprowadzonego na zlecenie resortu przez Millward Brown SMG/KRC. Sondaż pokazuje, że po szoku wywołanym awarią w Fukushima poparcie dla budowy elektrowni jądrowej powoli zaczyna wracać do stanu sprzed kwietnia ubiegłego roku.

Oceniając stan swojej wiedzy na temat energetyki jądrowej Polacy wystawiają sobie trójkę. Są jednak skłonni to zmienić – zdecydowana większość uważa, że konieczna jest rzetelna kampania informacyjna dotycząca energetyki jądrowej. Polacy zainteresowani są w szczególności bezpieczeństwem energetyki jądrowej, kwestiami związanymi ze składowaniem odpadów, a także wpływem elektrowni na środowisko naturalne oraz zdrowie i życie ludzi. Na te pytania, a także na wiele innych, odpowie kampania prowadzona przez Ministerstwo Gospodarki. Pomóc w tym projekcie mają ambasadory kampanii: prof. dr hab. Mariusz Dąbrowski, prof. dr hab. inż. Andrzej Reński, dr hab. Jerzy W. Mielicki, dr inż. Tomasz Bury oraz dr inż. Wojciech Głuszewski. ■



MŁODZI DYPLOMACI O BEZPIECZEŃSTWIE ENERGETYCZNYM

Europejska Akademia Dyplomacji, Fundacja im. Konrada Adenauera w Warszawie oraz Wyższa Szkoła Ekonomii i Innowacji zorganizowały w dniach 2-4 marca br. w Lublinie konferencję poświęconą bezpieczeństwu energetycznemu Unii Europejskiej.

Hasłem spotkania było „Bezpieczeństwo energetyczne Unii Europejskiej - w stronę silniejszej współpracy Polski i Niemiec”. Konferencja miała na celu kompleksowe omówienie zagadnień związanych z możliwością kooperacji państw Unii Europejskiej w zakresie bezpieczeństwa energetycznego, ze szczególnym uwzględnieniem roli Polski i Niemiec w tym procesie. W wydarzeniu uczestniczyło ponad 300 osób w tym 200 studentów Akademii Młodych Dyplomatów, prelegentów i gości specjalnych zainteresowanych tematyką bezpieczeństwa energetycznego. Ambasadę niemiecką reprezentował Matthias Herm.

W panelu poświęconemu głównym wyzwaniom sektorów energetycznych Polski i Niemiec udział wzięli: Dominik Jankowski – pracownik Biura Bezpieczeństwa Narodowego, Tomasz Dąbrowski – dyrektor Departamentu Energii w Ministerstwie Gospodarki, Marcin Kaczmarczyk – z Fundacji Konrada Adenauera, Andrzej Sikora – prezes zarządu Instytutu Studiów Energetycznych, Adam Simonowicz – wiceprezes zarządu Towarowej Giełdy Energii S.A. oraz Bradford Bell z ambasady Stanów Zjednoczonych w Warszawie.

W dyskusji na temat „Energia atomowa: przyszłość czy przeszłość?” uczestniczyli: Zbigniew Pisarski (Fundacja im. Kazimierza Pułaskiego), Mirosław Lewiński (Departament Energetyki Jądrowej w Ministerstwie Gospodarki), Wojciech Głuszewski (Polskie Towarzystwo Nukleoniczne), prof. Andrzej G. Chmielewski (Instytut Chemii i Techniki Jądrowej), Grzegorz Wiśniewski (Instytut Energii Odnawialnej) oraz Ludwik Pińkowski (Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego).

W dyskusji analizowano różne warianty energetycznych opcji dla Europy i Polski z uwzględnieniem energetyki jądrowej.

Zwrócono uwagę, że rezygnacja Niemiec z opcji jądrowej spowodowała znaczny wzrost cen energii elektrycznej w tym kraju. Koszty tej decyzji przerzucane są w znacznym stopniu na społeczeństwo, chociaż straty ponoszą również koncerny energetyczne. Zamyka się, bowiem elektrownie w momencie, kiedy są najbardziej rentowne. Warto zaznaczyć, że wszystkie nawet najstarsze reaktory jądrowe w Niemczech uzyskały bardzo wysokie oceny w przeprowadzanych, co 10 lat kontrolach bezpieczeństwa. W najbliższym czasie nasz zachodni sąsiad będzie zmuszony do kupowania energii elektrycznej z Francji i Czech. Paradoksalnie będzie to, więc energia produkowana w elektrowniach jądrowych.

Na koniec konferencji przeprowadzono krótki test, który pokazał, że przeszło 80% uczestników konferencji dało się przekonać do energetyki jądrowej.

Europejska Akademia Dyplomacji (EAD) to instytucja edukacyjna, która prowadzi profesjonalne programy przeznaczone dla dyplomatów, pracowników służby cywilnej, pracowników naukowych, studentów, przedstawicieli sektora pozarządowego oraz przedsiębiorców działających w branży międzynarodowej. Od czasu powstania w 2004 r., ponad 3000 osób skorzystało z oferty edukacyjnej EAD. Duże doświadczenie i nieustanne wyznaczanie coraz ambitniejszych celów sprawia, że EAD tworzy i przeprowadza programy, które cechuje profesjonalizm i pełne dostosowanie się do potrzeb nawet najbardziej wymagających odbiorców. Misją Europejskiej Akademii Dyplomacji jest kształcenie, doskonalenie i inspirowanie liderów środowisk międzynarodowych pragnących odpowiedzialnie wpływać na otaczającą nas rzeczywistość. Zlokalizowana w sercu Europy, Europejska Akademia Dyplomacji wywodzi swoje zasady i wartości z doświadczenia kraju, który z sukcesem przeszedł transformację polityczną i gospodarczą. Polityka zagraniczna Polski jest również inspiracją dla działań EAD, które wyznacza sobie za cel wspieranie poczucia odpowiedzialności za losy państw sąsiadujących z Unią Europejską, a także aktywnego zaangażowania we wspieranie demokracji i budowanie dobrobytu na całym świecie.



IRAP'2012

W tym roku w dniach 14 - 19 października odbędzie się w Krakowie wyjątkowe wydarzenie naukowe – 10 sympozjum Ionizing Radiation and Polymers (IRAP'2012).

Powierzenie organizacji tej prestiżowej konferencji Polsce jest wyrazem uznania dla naszych osiągnięć w zakresie chemii i technologii radiacyjnych. Sympozjum organizują wspólnie: Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ), Fundacja Badań Radiacyjnych (FBR) oraz Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej (MITR) przy współpracy z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej (MAEA).

Spotkania IRAP zostały zainicjowane w 1994 r. przez dr Alaina Le Moel i jego współpracowników z CEA-Saclay (French Alternative Energies and Atomic Energy Commission). Od tego czasu sympozja odbywały się, co 2 lata w różnych miejscowościach na 4 kontynentach. Konferencje te szybko



Logo sympozjum
(za zgodą organizatorów)

przyjęły się, jako ważne forum międzynarodowej wymiany i rozpowszechniania informacji na temat skutków oddziaływania promieniowania jonizującego na tworzywa polimerowe.

IRAP'2012 będzie okazją do zapoznania się z naj-

nowszymi osiągnięciami w dziedzinie chemii i fizyki radiacyjnej polimerów, zarówno w zakresie nauk podstawowych, jak i ich zastosowań. Przedstawione zostaną najnowsze kierunki rozwoju technologii radiacyjnych polimerów oraz innowacyjne produkty powstające w wyniku ich stosowania. Zagadnienia te przedstawią w swoich prezentacjach międzynarodowi eksperci reprezentujący naukę i przemysł.

Do udziału w sympozjum autorzy mogą zgłaszać prace dotyczące wykorzystania technik radiacyjnych w następujących dziedzinach: badania podstawowe, polimeryzacja, modyfikacja polimerów, nanomateriały i nanotechnologie, otrzymywanie „inteligentnych”/zaawansowanych polimerów i produktów, obróbka powierzchniowa, zastosowania przemysłowe, zastosowania biomedyczne, polimery naturalne, ochrona dziedzictwa kulturowego, historia chemii radiacyjnej.

Przewidziana jest również specjalna sesja poświęcona prezentacji prac młodych naukowców. Studenci mogą ubiegać się o dofinansowanie kosztów, a warunkiem jest zgłoszenie uczestnictwa w terminie do 31 maja 2012 r. Przewodniczącymi komitetu organizacyjnego zostali: prof. dr hab. Andrzej G. Chmielewski (ICHTJ) i prof. dr hab. Janusz M. Rosiak (MITR).

Szczegółowe informacje o konferencji znajdują się na stronie internetowej www.irap2012.pl ■



POLSKI ATOM A.D. 2012

Polski atom A.D. 2012. Co dalej? To tytuł panelu dyskusyjnego, jaki odbył się 19 stycznia 2012 r. w Warszawie w ramach III Energetycznego Kongresu Forbesa (Forbes Energy Executive Congress).

Spotkanie poświęcone było aktualnym problemom i wyzwaniom, przed jakimi stoi polska branża energetyczna. Eksperci dyskutowali również o bezpieczeństwie gazowym Europy i Polski, a zatem o wyzwaniach technologicznych, infrastrukturalnych oraz legislacyjnych, które wiążą się z budową terminali LNG. Poruszono zagadnienia regulacji dotyczących emisji CO₂ oraz ich wpływu na rozwój energetyki konwencjonalnej i energii odnawialnej. Specjaliści zastanawiali się nad przyszłością węgla i „atomu” w polskiej energetyce. Kluczowym punktem Kongresu był wywiad z Mikołajem Budzanowskim, ministrem skarbu państwa - gościem specjalnym na KANAPIE FORBESA.

W rozmowie o energetyce jądrowej uczestniczyli także: prof. dr hab. Grzegorz Wrochna - dyrektor Narodowego Centrum Badań Jądrowych, Witold Drożdż - wiceprezes Zarządu PGE Energia Jądrowa, dr hab. Krzysztof Andrzejewski - Narodowe Centrum Badań Jądrowych oraz Ziemowit Iwański dyrektor generalny GE Hitachi Nuclear Energy. Redaktora Forbsa interesowały następujące tematy: co przyniósł ostatni rok dla rozwoju energetyki jądrowej? jak oceniany jest postęp w realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej w kontekście nowych zagrożeń: kryzysu finansowego, katastrofy w elektrowni Fukushima, antynuklearnego Lobby w Unii Europejskiej? czy Polskę nadal stać na rozwój energetyki jądrowej w założonym harmonogramie?

Ziemowit Iwański komentując wydarzenia w Fukushima przypomniał, że pracujące tam II generacji reaktory jądrowe wytrzymały silne trzęsienie ziemi i dopiero wyjątkowo wysoka fala tsunami doprowadziła do awarii. Należy jednak pamiętać, że współczesne technologie jądrowe mają się do tych z przed lat tak, jak samochody z lat 60. do obecnych modeli aut. Można z dużym prawdopodobieństwem założyć, że współczesna elektrownia jądrowa oparłaby się nawet takiemu kataklizmowi, jaki nawiedził Japonię. Pozostali prelegenci potwierdzili, że polski rząd nie zmienił zdania w kwestii budowy elektrowni jądrowej w Polsce. Jeżeli nie zdarzy się nic nadzwyczajnego to za kilkanaście lat będzie można tanio, bezpiecznie i ekologicznie produkować energię w elektrowniach jądrowych.

Minister Mikołaj Budzanowski w trakcie wywiadu nakreślił swoją wizję pracy MSP. Jako priorytety wymienił zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego kraju oraz inwestycje w obszarze spółek gazowych, paliwowych i elektroenergetycznych. Najbliższe dwa lata niewątpliwie będą czasem ogromnego zaangażowania naszych spółek, w zakresie poszukiwań i przeprowadzenia dużej ilości odwiertów. Można w perspektywie 2014 r., a najpóźniej 2015 r., myśleć realnie o rozpoczęciu pierwszego i na niewielką skalę, wydobywania gazu łupkowego w Polsce.

Wspomniano też o niedawno zmarłym ojcu ministra prof. Andrzeju Budzanowskim wybitnym fizyku jądrowym, członku PAN. ■

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



PIME 2012

W dniach 12-15 lutego 2012 r. Europejskie Towarzystwo Nukleonczne (European Nuclear Society – ENS) zorganizowało w warszawskim Hotelu Sheraton konferencję poświęconą komunikacji społecznej. Odbijające się, co roku w różnych miastach na świecie spotkania służą wymianie doświadczeń między osobami zajmującymi się wizerunkiem energetyki jądrowej. Konferencje z roku na rok zyskują coraz większe zainteresowanie profesjonalistów z zakresu informacji społecznej oraz naukowców i menadżerów



Fot. Wojciech Głuszewski

Fot. 1. Konferencja Europejskiego Towarzystwa Nukleoncznego

związanych z energetyką nuklearną. W tym roku tematem przewodnim była sytuacja światowej atomistyki po awarii w elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi i Dai-doi w Japonii. Do udziału w spotkaniu zaproszono specjalistów z zakresu energetyki jądrowej z całego świata. Wśród nich byli przedstawiciele wszystkich liczących się producentów reaktorów jądrowych. Podczas spotkania zwrócono uwagę, na bardzo różne reakcje polityków oraz mediów na wydarzenia w Fukushima. Premier Japonii Naoto Kan oświadczył: że Japonia musi „zacząć odstępować” od swojej długoterminowej polityki energetycznej po wypadku z 11 marca w elektrowni atomowej Fukushima Dai-ichi również Niemcy ogłosili, że rezygnują z energetyki jądrowej. Z drugiej strony Wielka Brytania zadeklarowała kontynuację programu budowy nowych bloków jądrowych. Podobnie było z informacjami w środkach masowego przekazu. Jedne wieściły koniec ery energetyki jądrowej, inne podkreślały, że Fukushima – paradoksalnie – wykazała bezpieczeństwo reaktorów jądrowych. Zdaniem fachowców bezpośrednią przyczyną awarii stosunkowo starej elektrowni jądrowej nie były wady konstrukcyjne, ale wyjątkowa w swojej skali klęska spowodowana przez żywioł. Elektrownia w Fukushima dzielnie przetrwała niezwykle silne nawet na warunki japońskie trzęsienie ziemi i w zasadzie oparła się atakowi kilkunastometrowej fali tsunami. Podała się w sytuacji, kiedy fala wody zniszczyła całą infrastrukturę przesyłu energii elektrycznej. Tak, więc, zdaniem ekspertów występujących podczas PIME 2012 przyczyną awarii był brak energii elektrycznej niezbędnej do zasilania pomp chłodzących rdzenie reaktorów i baseny z wypalonym paliwem.

Podczas spotkania analizowane były sposoby relacjonowania wydarzeń w Fukushima w różnych mediach na świecie. Nie ulega wątpliwości, że w Fukushima znacznie wzrosły wymagania dotyczące przekazywanych informacji w sytuacji kryzysowej. Obecnie należy zmobilizować wszystkie umiejętności, aby sprostać wyzwaniom i zapewnić społeczeństwu regularne informacje. Dewizą tych działań powinna być zawsze przejrzystość, odpowiedzialność i wiarygodność. Takuya Hattori, prezes Japońskiego Atomowego Forum Przemysłowego oraz Centrum Współpracy Międzynarodowej (JICC) zwrócił uwagę, że przekazywane japońskiemu społeczeństwu informacje o awarii były zbyt złożone, zbyt techniczne, a przez to mało komunikatywne. Większość ludzi być może nie rozumiała tego przekazu i gubiła się w liczbach i nauko-

wych terminach. Wyciągając wnioski z tych doświadczeń, należy w przyszłości komunikaty przygotowywać w sposób prosty i rzetelny. O swoich doświadczeniach w informowaniu społeczeństwa o awarii w Fukushima mówili między innymi: przedstawicielka Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, delegaci towarzystw nukleonicznych z Holandii, Austrii, USA, Wielkiej Brytanii, Finlandii, Słowacji, Francji, Węgier, Rosji, Belgii i Niemiec (niektóre prezentacje są dostępne w Polskim Towarzystwie Nukleonycznym).

Wydarzenia w Fukushima spowodowały duży spadek akceptacji społecznej dla energetyki jądrowej w wielu krajach na świecie w tym także w Polsce. Należy zwrócić szczególną uwagę na to, że właśnie pracownicy są często traktowani jako najbardziej wiarygodne źródło informacji. Tak więc powinno się lepiej dbać o właściwe informowanie całego personelu o zaistniałych sytuacjach kryzysowych. W ten sposób pracownicy będą lepiej przygotowani do odpowiedzi na trudne nieraz pytania zadawane przez społeczeństwo.

W ramach spotkania PIME 2012 zorganizowano specjalne warsztaty Young Generation (młoda generacja w nukleonice) oraz Women in Nuclear (WiN) (kobiety w nukleonice). W czasie trwania dyskusji zastanawiano się, czy wnioski z lekcji Fukushima są już teraz wprowadzane w życie? Powinno się usprawnić proces stałego dokształcania specjalistów od komunikacji społecznej a przede wszystkim zwrócić uwagę na dostarczanie prawdziwych dobrze przygotowanych informacji. Optymistycznie zabrzmiało wystąpienie Fahad Al Qahtani, z Emiratów Arabskich, który z dumą mówił o planach tego kraju w dziedzinie energetyki jądrowej. Zapewnił, że jego kraj wyciągnął wnioski z lekcji Fukushima i ich instalacje będą odporne nawet na taki żywioł, jaki zaatakował Japonię.

W czasie konferencji przedstawiono również raport na temat przyszłości energetyki jądrowej na świecie. Z bilansu z ostatniego roku można wywnioskować, że perspektywy EJ są nadal optymistyczne. Paradoksalnie znacznie wzrosła wiedza społeczeństwa na temat energetyki jądrowej oraz zwiększyło się (dziesięciokrotnie) zainteresowanie mediów tym tematem. Przedstawiciele polskiego rządu i przyszłego inwestora PGE Energia Jądrowa poinformowali, o tym, że nasz kraj podtrzymuje zamiar budowy elektrowni jądrowej. W konferencji PIME uczestniczyło również Polskie Towarzystwo Nukleoniczne. Uczestników spotkania zaproszono pierwszego dnia konferencji do Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie oraz do Zamku Królewskiego w Warszawie. Konferencje poprzedziło zorganizowane w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej spotkanie najmłodszej generacji atomistów.

Spotkanie Core Committee Meeting dla ENS-YGN w ICHTJ

W sali seminaryjnej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie 11 lutego 2012 r. odbyło się posiedzenie Core Committee Meeting (CCM), krajowych przedstawicieli europejskich stowarzyszeń Young Generation wchodzących w skład European Nuclear Society – Young Generation Network (ENS-YGN). Spotkanie zorganizowali młodzi pracownicy ICHTJ: Marcin Brykała prezes Forum Młodych Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego – FM PTN, wiceprezes Tomasz Smoliński (FM PTN) oraz była prezes Kinga Frąckiewicz (FM PTN).

Uczestników w imieniu Instytutu oficjalnie przywitał dyrektor ICHTJ prof. dr hab. inż. Andrzej G. Chmielewski, natomiast w imieniu Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego sekretarz generalny dr Wojciech Głuszewski. Na spotkaniu obecny był również prezydent European Nuclear Society (ENS) Marco Streit. Poza kwestiami organizacyjnymi ENS-YGN, 13 przedstawicieli europejskich stowarzyszeń YG przedstawiło raporty ze swojej działalności popularyzatorsko-naukowej za ubiegły rok. Działalność oraz aktywność Forum Młodych PTN zaprezentował jego nowy prezes Marcin Brykała.

Dzień wcześniej goście zostali zaproszeni do Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku, później odbyło się spotkanie CCM, a zakończono je wizytą w Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie oraz na Zamku Królewskim w Warszawie. ■

*Marcin Brykała,
prezes Forum Młodych PTN,
Warszawa*



OTWARCIE MUZEUM LAMP RENTGENOWSKICH W OPOLU

Otwarcie nowego Muzeum Lamp Rentgenowskich i udostępnienie zbiorów dla publiczności nastąpiło 8 listopada 2011 r. Zbiory mieszczą się w sali ostatniego piętra jednego z budynków kampusu Politechniki Opolskiej. Zgromadzono w niej przeszło tysiąc sztuk lamp ustawionych na półkach i na podłodze. W otwierającym spotkanie przemówieniu inauguracyjnym, które wygłosił rektor Jerzy Skubis podkreślił rolę twórcy muzeum – Grzegorza Jezierskiego.

Na wstępie rektor serdecznie przywitał zgromadzonych gości w imieniu swoim i wszystkich pracowników politechniki, podziękował za przybycie m.in. przedstawicielom władz miasta i regionu, wicemarszałkowi województwa opolskiego Romanowi Kolkowi, dyrektorowi Januszowi Wójcikowi z departamentu Urzędu Marszałkowskiego, pracownikom instytutów badawczych, instytucji państwowych, przemysłu i medycyny szczególnie tym, zawodowo związanym z promieniowaniem rentgenowskim. Wyrazy powitania zostały skierowane do przedstawicieli firm związanych ze sprzedażą i serwisowaniem urządzeń rentgenowskich, przedstawicieli zaprzyjaźnionym z muzeum z różnych stron kraju. Wśród licznych gości na uroczystość przybyła także Natalia Pisarewska – dyrektor Muzeum Techniki przy Politechnice w Kijowie oraz wielu profesorów i przedstawicieli środowiska naukowego. Nie zabrakło również studentów.

Ale może wróćmy do początków powstania tego muzeum. Sukcesy kolekcjonerskie i wciąż powiększający się zbiór miał zrozumiały wpływ na decyzję Grzegorza Jezierskiego i podjęcie starań w poszukiwaniu miejsca, mającego pomieścić cenne zbiory. Zabiegi Jezierskiego zakończyły się uzyskaniem pomieszczenia w jednym z budynków kampusu, które udostępniła Politechnika Opolska. Nad organizacją muzeum pracowano przez 4 lata.

– „Jest wielu twórców tego muzeum, ale szczególnym jego entuzjastą jest Grzegorz Jezierski, który zgromadził eksponaty na dzisiejszy wieczór „ – mówił rektor. Istotą tego spotkania było zaprezentowanie zebranych zbiorów, opowiedzenie o kolekcji lamp rentgenowskich.

Następnie rektor oddał głos Krystynie Dudzie prowadzącej uroczystość, która powierzyła poprowadzenie części artystycznej znanemu aktorowi Andrzejowi Czernikowi z Teatru EkoStudio. Aktor odczytał wspomnienia przybliżając zgromadzonym gościom sylwetkę i dorobek Wilhelma Konrada Rentgena.



Fot. 1. Andrzej Czernik

Po prezentacji Projektodawca muzeum z wielkim zaangażowaniem opowiedział uczestnikom w jaki sposób powstawała kolekcja lamp. A wszystko zaczęło się od trzech lamp rentgenowskich tzw. liliputów jakie otrzymał w darze. Zręby kolekcji Grzegorz Jezierski, za zgodą żony, zaczął gromadzić w swoim domu – w garażu, dzięki zaprzyjaźnionym osobom-ofiarodawcom, zaangażowanym w jego realizację. Pozyskiwał on lampy będąc także pracownikiem Politechniki Opolskiej. W 2007 r. wspólnie spotkali się już pierwsi ofiarodawcy oraz miłośnicy lamp rentgenowskich.

Przy pozyskiwaniu eksponatów jednym ze znaczących problemów były sprawy związane z transportem i kosztami obciążającymi ofiarodawcę. Zdarzało się, że gromadzone lampy przychodziły czasami tylko we fragmentach, jak np.: amerykański aparat z czasów I wojny światowej. W dalszej części swoje wystąpienie kolekcjoner ubarwił anegdotami, które miały na celu ukazanie realiów, w jakich zaczynał prowadzić swoją działalność.

Po zakończeniu części wykładowej, gości zaproszono do obejrzenia eksponatów wystawionych w niewielkiej sali. Goście podziwiali m.in. stare lampy rentgenowskie (również te z okresu życia Rentgena). Dopelnieniem ekspozycji była kolekcja artystycznych zdjęć rentgenowskich wykonanych przez artystkę Joannę Strogę z Wrocławia, która towarzyszyła otwarciu głównej ekspozycji. Zazwyczaj artyści wykonują zdjęcia rentgenowskie tą samą techniką, ale każdy z nich używa inne efekty.



Fot. 2. Goście uczestniczący w otwarciu muzeum

Obecni w sali Politechniki Opolskiej goście byli pełni podziwu, w jaki sposób Grzegorz Jezierski potrafił zebrać przez te lata tak wiele eksponatów. Po spotkaniu wszystkich gości zaproszono na poczęstunek.



Fot. 3. Eksponaty muzealne

Miłośnicy muzeum są mile widziani na FORUM internetowym <http://www.muzeum.po.opole.pl/> zawierającym elementy edukacyjne. Powyższa strona jest przywoływana na stronach amerykańskich. O otwarciu muzeum w jednym z amerykańskich czapism napisano: „... nigdy nie widziano tak bogatej tego typu kolekcji..” ■



ROZMOWA Z DR INŻ. GRZEGORZEM JEZERSKIM

Redakcja: Skąd pomysł otwarcia muzeum w murach Politechniki Opolskiej?

GJ. Na początku była niewielka kolekcja lamp rentgenowskich (wszystko zaczęło się od lamp przemysłowych tzw. liliputów) stanowiąca własność prywatną w niewielkiej miejscowości Czarnowąs, ale już od dawna moją ideą było utworzenie muzeum w budynku starych koszarów wojskowych, które po odnowieniu służą dzisiaj Politechnice Opolskiej. Aby otworzyć

muzeum muszą być spełnione odpowiednie warunki, których wówczas nie było, a więc na początku nawiązałem kontakt z rektorem Jerzym Skubisem z Politechniki Opolskiej i uzyskałem wstępną deklarację, potem zgodę na utworzenie muzeum. Kilka lat później została podpisana umowa. Ostatecznie postanowiliśmy zgodnie, by otwarcia muzeum dokonać nawiązując do ważnej historycznej daty 8 listopada 1895 r., związanej z odkryciem przez Wilhelma Rentgena promieni X. W tych niewielkich pomieszczeniach udało się zgromadzić 714 niepowtarzalnych eksponatów. Wszystkich lamp w kolekcji jest ponad 1000, ale okazało się, że są wśród nich pewne powtarzające się. Eksponaty muzealne, to lampy rentgenowskie oraz akcesoria służące do różnych zastosowań: aparaty przemysłowe, głowice, kołpaki, skanery, aparaty stomatologiczne, soczewki, detektory, polikapilary (ze Zjednoczonych Emiratów Arabskich), potrafiące np. skupić promieniowanie rentgenowskie na obszarze, o średnicy 0,3 mm, aparaty do wykonywania analiz etylofluorescencji na obrazach, na znaczkach, wszędzie tam gdzie trzeba zbadać tylko pewien niewielki szczegół (np.: skład).

Samych ofiarodawców lamp jest około 340, z różnych krajów: Stanów Zjednoczonych, Wielkiej Brytanii, Japonii, Australii, Izraela, z Polski. Z naszego kraju pochodzi np. układ probierczy, który służył do badania procentowej zawartości złota w wyrobie. Zaletą tej kolekcji jest to, że zawiera lampy używane do wszystkich ważniejszych zastosowań: przemysłowych, medycznych i badań naukowych.

Redakcja: Jak odbywał się transport tych lamp?

GJ. Jeżeli chodzi o transport, to zwykle sprawą trudną pozostaje odbiór lamp ze względu na ich delikatną strukturę, jak i koszty. Okazuje się, że wielu ofiarodawców chce dostarczyć lampy, ale największą barierą do pokonania jest koszt transportu (400 do 500 euro), który często przewyższa ich wartość. Nowo powstałe muzeum nie posiada swoich funduszy. Kolekcja powstaje przede wszystkim dzięki życzliwości wielu osób, a eksponaty przekazywane są nieodpłatnie. Dużo ludzi pomaga w ich przewozie samochodami osobowymi (np.: ze Szwajcarii lub z Niemiec). Pojawiają się też formalne trudności z pozyskiwaniem lamp rentgenowskich, gdyż wynika to z przepisów o gospodarce odpadami, ponieważ zużyte, niesprawne lampy rentgenowskie są traktowane jako odpady, stąd też podlegają one obowiązkowej utylizacji. Faktem jest także, iż niektóre lampy zawierają materiał toksyczny jakim jest beryl. Istotną część eksponatów wysyłana jest drogą morską lub lotniczą.

Redakcja: Jakie są inne poza medycyną obszary wykorzystania promieniowania rentgenowskiego?

GJ. Istnieje 16 obszarów stosowania promieniowania rentgenowskiego wykorzystywanych w różnych dziedzinach naszego życia. Tylko jednym z nich jest medycyna. Promieniowanie rentgenowskie jest stosowane praktycznie wszędzie. Jego dynamiczny rozwój obserwuje się np.: w przemyśle spożywczym, gdzie wszystkie artykuły są sprawdzane na zawartość różnego rodzaju zanieczyszczeń. Wszystko co jest pakowane w szkło, słoiki, folię np.: musztardy, keczupy, lody jest bada-

ne z wykorzystaniem promieniowania rentgenowskiego pod względem zawartości zanieczyszczeń. Z całą pewnością kolejną dziedziną jest elektronika. Oczywiście obecnie nie byłoby tak małych telefonów, gdyby nie możliwość ich prześwietlania, np. w celu sprawdzania połączeń ich układów scalonych. W Polsce jest już kilkanaście takich instalacji są to urządzenia tzw. mikroogniskowe, w których potrzeba zastosować duże powiększenia służące do kontroli połączeń elektrycznych. Trzecim obszarem (security), są zakłady karne, i urzędy prokuratorskie, gdzie stosuje się skanery. Są one także stosowane w sklepach, hotelach do kontroli bagażu, w Polsce używa się skanerów do prześwietlania bagażu (kancelaria Sejmu, kancelaria premiera, sądy) lecz również do kontroli przesyłek w urzędach pocztowych. Skanery zamontowane są obecnie na poruszających się pojazdach i wykorzystywane do przeciwdziałania przemycań niebezpiecznych odpadów. Prześwietlają one z boku przejeżdżające samochody na terenie całego kraju. Należy pamiętać, iż używanie takiego skanera wymaga uzyskania zezwolenia prezesa PAA.

Promieniowanie rentgenowskie wykorzystywane jest przy poszukiwaniu diamentów. Tylko prawdziwy diament pod wpływem promieni rentgenowskich wysyła fluorescencję i to jest sygnałem do jego identyfikacji, a następnie separacji. W ten sam sposób wykorzystuje się promieniowanie rentgenowskie do badania autentyczności pereł. Prawdziwa perła posiada słoje, perła hodowana (bez atestu) nie ma słoje. ■

Elżbieta Zalewska,
Warszawa



BŁYSKI GAMMA RZUCAJĄ ŚWIATŁO NA NATURĘ CIEMNEJ ENERGII

Ciemna energia to obecnie główny składnik Wszechświata, odpowiedzialny za jego przyspieszoną ekspansję. Astronomowie obserwują kosmologiczne skutki działania ciemnej energii, lecz wciąż nie wiedzą, czym ona jest. Zagadkę pomaga rozwikłać nowa metoda pomiaru największych odległości we Wszechświecie, opracowana przez naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Uniwersytetu Fryderyka II w Neapolu. Kluczową rolę odgrywają w niej najpotężniejsze kosmiczne eksplozje – błyski gamma.

Jaka jest natura ciemnej energii, niedawno odkrytego, dominującego składnika Wszechświata? Czy napędzająca ekspansję ciemna energia jest przejawem własności samej czasoprzestrzeni, czy raczej nieznanym nauce polem? Odpowiedź można otrzymać dzięki nowej „miarce”, skonstruowanej przez naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i Uniwersytetu Fryderyka II w Neapolu. „Z cech promieniowania emitowanego podczas błysków gamma potrafimy odczytać odległość, w jakiej doszło do eksplozji. Ponieważ część tych wybuchów pochodzi z jednych z najdalszych znanych nam obiektów w kosmosie, po raz pierwszy jesteśmy w stanie

oszacować tempo ekspansji czasoprzestrzeni nawet w dość wczesnych epokach po Wielkim Wybuchu”, mówi prof. dr hab. Marek Demiański z Wydziału Fizyki UW. Metodę zastosowano do weryfikacji modeli budowy Wszechświata zawierających ciemną energię.

W 1998 r. podczas analizy jasności supernowych typu Ia odkryto, że najdalsze wybuchy wydają się za słabe. Supernowe typu Ia wybuchają w układach podwójnych. Jedną z gwiazd jest biały karzeł, pozostałość po cyklu ewolucyjnym gwiazd podobnych do Słońca. Gdy druga gwiazda układu wchodzi w fazę czerwonego olbrzyma i się rozdziera, jej zewnętrzne warstwy, zawierające głównie wodór, zaczynają opadać na białego karła, którego masa powoli wzrasta. Gdy biały karzeł osiąga 1,4 masy większą od masy Słońca, eksploduje i zostaje całkowicie rozerwany. Warunki inicjujące wybuch są za każdym razem podobne, dlatego supernowe typu Ia zawsze uwalniają mniej więcej tę samą ilość energii. Właściwość tę astronomowie wykorzystują do pomiaru odległości w kosmosie.

Słabsza obserwowana jasność dalekich supernowych Ia wskazuje na to, że są one bardziej odległe niż zakładano. Wszechświat zamiast spowolnienia ekspansji, przyspiesza. Aby uzgodnić dotychczasowe modele Wszechświata z obserwacjami, trzeba było wprowadzić do teorii nową formę masy-energii: ciemną energię. Obliczenia wskazują na istnienie ogromnej ilości ciemnej energii, prawie 20 razy większej niż ilość masy-energii związanej ze światem dostępnym dla ludzkich zmysłów. „Z dnia na dzień ciemna energia stała się, całkiem dosłownie, największą zagadką Wszechświata”, mówi prof. Demiański.

Do dziś nie wiadomo, czym jest ciemna energia. Popularne są dwa modele tłumaczące jej naturę. Pierwszy zakłada, że ciemna energia to cecha opisana słynną stałą kosmologiczną, wprowadzoną przez Alberta Einsteina.

Drugi model przyjmuje, że za przyspieszoną ekspansję odpowiada pewne nieznanne jeszcze pole skalare. „Innymi słowy mamy do wyboru: albo czasoprzestrzeń rozpycha się sama, albo jest rozpychana przez znajdujące się w niej nieznanne skalare pole fizyczne”, mówi prof. Demiański.

Wyboru poprawnego modelu można dokonać badając gęstość ciemnej energii w różnych epokach po Wielkim Wybuchu. Przyjmując, że gęstość byłaby stała, ciemna energia miałaby związek ze stałą kosmologiczną, czyli cechą czasoprzestrzeni. Jeśli Wszechświat przyspiesza pod wpływem pola skalarnego, z uwagi na puchnięcie czasoprzestrzeni gęstość ciemnej energii powinna maleć. „Tu dotychczas był problem. Aby ocenić zmiany gęstości ciemnej energii jak najwcześniej po Wielkim Wybuchu, trzeba umieć mierzyć odległości do bardzo dalekich obiektów. Tak dalekich, że nawet związane z nimi supernowe typu Ia są za słabe do obserwacji”, mówi prof. Demiański.

Polsko-włoska grupa astrofizyków zaproponowała, aby do pomiaru najdalszych odległości we Wszechświecie wykorzystać błyski *gamma* (*Gamma Ray Burst*, GRB), najpotężniejsze eksplozje obserwowane obecnie we Wszechświecie.

Analizie poddano tzw. błyski długie, powstające prawdopodobnie podczas zapadania się jądra wielkiej gwiazdy. Proces prowadzi do narodzin czarnej dziury. Emitowane wtedy promieniowanie *gamma* jest tak intensywne, że udaje się obser-

wować nawet obiekty, które eksplodowały zaledwie 400 mln lat po Wielkim Wybuchu.

Podstawowy problem polegał na oszacowaniu całkowitej energii błysku. W tym celu dr Ester Piedipalumbo przeanalizowała bazy z danymi o dotychczasowych eksplozjach *gamma*. Okazało się, że część wybuchów zdarzyła się w galaktykach, do których odległość można było wyznaczyć innymi metodami, na przykład za pomocą supernowych typu Ia. „Skupiliśmy się na takich przypadkach. Zналиśmy odległość do galaktyki, wiedzieliśmy też, ile energii błysku dotarło do Ziemi. Na tej podstawie można było skalibrować błysk, czyli wyliczyć całkowitą energię eksplozji”, wyjaśnia prof. Demiański.

Kolejnym krokiem były poszukiwania statystycznych zależności między różnymi cechami promieniowania emitowanego podczas błysku *gamma* a całkowitą energią wybuchu. Związki te udało się znaleźć. „Nie umiemy podać fizycznego wyjaśnienia, dlaczego niektóre własności błysków *gamma* są ze sobą powiązane”, podkreśla prof. Demiański. „Potrafimy jednak powiedzieć, że jeśli zarejestrowane promieniowanie ma takie, a nie inne cechy, to błysk musiał mieć taką, a nie inną energię. Dzięki temu możemy używać błysków jako świec standardowych, do pomiaru odległości”.

Zespół naukowców z uniwersytetów w Warszawie i Neapolu przeanalizował dane zgromadzone przez astronomów. Bardzo odległe błyski *gamma* zdarzają się dość rzadko. Katalog Amanti liczył 95 takich zjawisk i okazał się zbyt skąpy, by na jego podstawie jednoznacznie rozstrzygnąć, jaki charakter ma ciemna energia? „To nieco rozczarowująca wiadomość. Ważny jest jednak fakt, że narzędzie do weryfikowania hipotez o budowie Wszechświata jest już w naszych rękach. Teraz pozostaje tylko czekać na kolejne kosmiczne fajerwerki”, podsumowuje prof. Demiański.

Niedostateczna ilość materiału obserwacyjnego pozostaje głównym problemem w analizie danych dotyczących błysków *gamma*. Z tego powodu wiele grup astronomów i astrofizyków łączy wysiłki, by jak najszybciej i jak najdokładniej je rejestrować. Jednym z takich przedsięwzięć jest „Pi of the Sky”, projekt zrobotyzowanego przeszukiwania dużych obszarów nieba w czasie rzeczywistym, współrealizowany przez Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. ■

Marek Pawłowski
pełnomocnik Dziekana Wydziału Fizyki UW
d/s upowszechniania wyników badań

Informacja została przygotowana zespołowo
na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego



LIST DO REDAKCJI

ERGETYKA JĄDROWA - „BYŁABY”

Szanowni Państwo,

Parę lat temu przeglądałem projekt dokumentu „Strategia Energetyczna Polski do roku 2030”, sporządzony przez Ministerstwo Gospodarki (MG). Zapoznałem się też z poprawioną wersją tego dokumentu. Zauważyłem, że „Strategia ...” całkiem znaczące miejsce przypisuje energetyce jądrowej – chyba na poziomie 20% krajowego zapotrzebowania na energię elektryczną, tj. za spalaniem paliw kopalnych, ale przed hydroenergetyką i przed

Odnawialnymi Źródłami Energii (OZE). Rozumiem, że zaobserwowane późniejsze działania MG, takie jak opracowanie i poddanie pod dyskusję dwóch dokumentów: „Program Polskiej Energetyki Jądrowej” i „Prognoza Oddziaływania na Środowisko projektu Programu Polskiej Energetyki Jądrowej” to nic innego, jak przejawy wdrażania „Strategii...”. Tych przejawów jest więcej, ale ja, amator, obserwuję tylko niektóre z nich i tylko sporadycznie; zdarzyło się również, że uczestniczyłem w społecznych konsultacjach obu dokumentów.

Ostatnio ktoś zalecił mi przeczytanie zapisu rozmowy z dnia 7 września 2011 r., jaką na antenie Sygnałów Dnia (Polskie Radio – Jedynka), red. Grzegorz Ślubowski przeprowadził z wice-premierem Waldemarem Pawlakiem. Premier powiedział m.in.: „Natomiast na pewno po wydarzeniach w Fukushima wszyscy widzimy potrzebę większej dbałości o bezpieczeństwo i na pewno, jeżeli byłaby kontynuacja programu nuklearnego w Polsce, to trzeba mówić o znacznie większych wymogach bezpieczeństwa, żeby nie było ryzyka nuklearnego, jakiegoś przecieku czy skażenia.”

W zdaniu tym moją uwagę zwróciło słowo „byłaby”. Dostrzegam w tym słowie zapowiedź ewentualnej rewizji Strategii. I mnie to nie dziwi. W sytuacji, gdy wokół dzieje się tak wiele, nie można uparcie tkwić przy czymś tylko dlatego, że tak się już raz powiedziało. A dzieje się sporo: wydarzyła się awaria w Fukushima, poszukiwania polskiego gazu łupkowego nabierają tempa, nacierają zwolennicy OZE. Nie wykluczone również, że to „byłaby” Premiera ma też dodatkowe podłoże – paliwo. Paliwa jądrowego nie mamy i zapewne mieć nie będziemy. Własne paliwo jądrowe to nie tylko zasoby, ale również przetworzenie surowca do postaci właściwej dla reaktorów, a co ważniejsze, bardzo trudne postępowanie z wypalonym paliwem. Trzeba będzie koniecznie znaleźć odpowiedniego partnera, który zagwarantuje stabilne dostawy paliwa świeżego i stabilny odbiór paliwa wypalonego. Mam nadzieję, że użycie słowa „byłaby” jest umotywowane właśnie takimi uwarunkowaniami jak zasygnalizowałem wyżej. Wierzę, że „byłaby” w wypowiedzi Premiera niewiele ma wspólnego z różnymi dość oryginalnymi opiniami, których nie mało słychać z różnych stron.

W maju tego roku, prof. Mirosław Dakowski, w audycji tytułowanej „Rozmowy niedokończone” (Radio Maryja), mówił na temat „Energetyka rozproszona a jądrowa”. Profesor przedstawił się jako zdecydowany przeciwnik energetyki jądrowej ale zastrzegł, że nie jest energetykiem, jest „fizykiem rozszczepieniowym”. Profesor przekonująco zreferował zagrożenia jakie są właściwe reaktorom jądrowym, których istotą jest właśnie reakcja rozszczepienia. A ja po raz pierwszy słuchałem kompetentnego przeciwnika energetyki jądrowej.

Przy okazji charakteryzowania energetyki jądrowej profesor Dakowski wskazywał również na spotykane działania nieetyczne, nie służące przejrzystości procesów decyzyjnych. Zrozumiałem Profesora, że jest przeciwnikiem nie tylko energetyki jądrowej, natomiast sądzę, że Profesor zgodzi się co do tego, że działania nieetyczne, o których dosyć często się słyszy, nie są zarezerwowane wyłącznie dla reakcji rozszczepienia. Nie doczekałem się, niestety, drugiej części wywodu Profesora, a mianowicie na temat „energetyki rozproszonej”. Rozumiem, że jeżeli prof. Dakowski zdecydowanie i kompetentnie mówi energetyce jądrowej NIE, to ma również propozycję konstruktywną, propozycję na TAK. Sądząc z tytułu audycji, miała to być „energetyka rozproszona”.

Kiedyś przeczytałem artykuł pt. „Nie śpieszmy się z atomem” (Przegląd, 22 lutego 2009 r.), w którym prof. Ludwik Tomiałojć zwraca uwagę na potrzebę rozwijania „energetyki obywatelskiej” tj. małej, różnorodnej, innej niż ta duża – państwowa. Zgoda – taką małą trzeba rozwijać, ale skąd ten tytułowy apel? W artykule nie ma tezy, że ta mała energetyka zastąpi dużą (to już dobrze), ale jest tylko nieumotywowana niechęć do „atomu” wyrażona

choćby tylko tytułem artykułu. Lobbowanie małej energetyki wcale nie musi się odbywać „kosztem atomu”.

Niedawno prof. Andrzej Strupczewski mówił (portal www.wnp.pl z dnia 14 września 2011 r.), że w Polsce „jest miejsce zarówno dla energetyki jądrowej, jak i dla ...”. Intuicyjnie podzielał zdanie Profesora, ale wołałbym, by nie mówić o „miejscu dla...”, a o ewentualnej konieczności posiadania energetyki jądrowej. W dotychczasowej wersji „Strategii ...” konieczność energetyki jądrowej jest ewidentnie zapisana. Jak już napisałem, słowo wice-premiera (W. Pawlaka) „byłaby”, to moim zdaniem zapowiedź rewizji „Strategii ...”. Nie wątpię, że to operator polskiego systemu elektroenergetycznego, po rozpoznaniu potrzeb w zakresie zapotrzebowania na energię elektryczną i po zebraniu „ofert” od potencjalnych dysponentów różnych źródeł energii, skonfrontuje potrzeby z możliwościami i zdecyduje czy w ogóle musi sięgnąć po energetykę jądrową, a jeżeli musi, to w jakim rozmiarze. Wyobrażam sobie, że „oferty” dotyczące różnych źródeł energii będą kompleksowe.

Co do energii pochodzącej ze spalania paliw kopalnych sprawa jest dosyć oczywista. Zasoby są znane, a jeżeli gaz łupkowy nie zawiedzie, to samowystarczalność energetyczna na długi czas jest w zasięgu ręki, chyba że „ekologia” zmusi nas do wprowadzenia innych źródeł energii, nie wykorzystujących spalania. Wydaje się, że ucicha teza, jakoby potęgowanie się efektu cieplarnianego w wyniku działania człowieka, było wymysłem „określonej” grupy interesów. Sądzę, że wskazany jest umiar w rozpędzaniu się ze spalaniem. Ewentualne niespodzianki natury ekologicznej towarzyszące wydobywaniu gazu łupkowego, mogą też wprowadzić dodatkowe ograniczenia.

Gdyby o energii z wiatru, czy ze słońca, mówić w skali interesującej operatora systemu elektro-energetycznego, a nie tylko w skali „energetyki obywatelskiej” (L. Tomiałojć), to nie wolno nie pomyśleć o ewentualnych ekologicznych skutkach rozwoju tych form pozyskania energii. Trzeba też oszacować wzajemne oddziaływanie tych i innych form pozyskiwania energii. Wszak wszystko co się dzieje w przyrodzie, dzieje się za sprawą słońca! Hydroenergetyka jako źródło energii, w naszych warunkach, nie jest w stanie zaoferować operatorowi systemu zbyt wiele, będzie natomiast niezbędna by akumulować nadmiary wytwarzanej energii, np. gdy utrzymują się silne wiatry. Zakładam, że energia z biomasy, czy z geotermii jest poza zainteresowaniami operatora systemu elektroenergetycznego i niech pozostanie w polu działania „energetyki obywatelskiej”. W kontekście powyższych stwierdzeń proponuję, by eksperci w zakresie energetyki jądrowej nie zajmowali się szukaniem „miejsc dla ...”, a zapewnili odpowiedni stan „mobilizacji” na wypadek, gdyby operator systemu był zmuszony sięgnąć po energetykę jądrową.

W ostatnim czasie, dosyć często spotykam różne wystąpienia prof. Władysława Mielczarskiego na temat energetyki jądrowej. Generalnie Profesor ma rację mówiąc, że energetyka jądrowa jest trudna i bardzo wymagająca. Ale prof. Mielczarski swoje stanowisko formułuje dosadniej: pisze, że jest i kosztowna i niebezpieczna. Wniosek Profesora jest taki: trzeba zatem porzucić zamiar budowy elektrowni jądrowych w Polsce.

Wśród różnych wystąpień prof. Mielczarskiego ostatnio znalazłem tekst następujący:

«W swoim piśmie skierowanym do potencjalnego inwestora EoF i dostawcy reaktorów Areva, brytyjski inspektorat pisze: „...mamy poważne obawy dotyczące waszych propozycji, która spowodowałyby że systemy [zabezpieczeń] o niskim stopniu bezpieczeństwa zastąpiłyby [obecne] systemy wyższej klasy”. System zabezpieczeń można poprawić, ale wymaga to czasu i znacznie podnosi koszty.» Natomiast przytoczony wyżej fragment (kursywa) z listu brytyjskiego inspektoratu do firm EoF i Areva w oryginalnym brzmi tak: “We have serious concerns about your proposal which allows lower safety class systems to have write access [the

ability to override] to higher safety class systems.” Można się zgodzić co do tego, że bez kontekstu, bez znajomości osobliwości języka funkcjonującego między korespondentami (inspektorat – dostawca), omawiane zdanie nie do końca jest jednoznaczne dla niespecjalistów. Ale w żadnym wypadku nie ma w nim miejsca na słowo „zastąpiłyby”. Anglicy nie napisali o „zamiarze zastąpienia”, a napisali o zamiarze zakwalifikowania do wyższej klasy bezpieczeństwa. A zamiar zakwalifikowania nie jest naganny, nie jest nieetyczny. O zakwalifikowaniu decydują niezależne organizacje o zasięgu ponad państwowym i jeżeli zakwalifikują do odpowiedniej klasy bezpieczeństwa to znaczy, że jest dobrze, to znaczy, że system jest odpowiednio niezawodny, tak jak tego, dla bezpieczeństwa, wymagają międzynarodowe uregulowania. Mówiąc krótko – spełnia wymagania SIL-4 (*Safety Integrity Level-4*). Omawiane zdanie, podane po polsku tak jak wyżej, wpisuje się atmosferę podejrzeń o nieetyczne działania, przypisywane energetyce jądrowej – jak to już sugerował ktoś inny i w innym miejscu. W tym wypadku, nieetycznym działaniem miałby być zamiar dostawcy by zaoszczędzić i zamiast „dobrego – drogiego”, sprzedać „gorsze – tańsze”. Uważam, że nie można wybrzydzac na energetykę jądrową (i na wszystko inne) za pomocą nieprawdopodobnych argumentów, tak jak nie wolno kończyć dyskusji retorycznym pytaniem: „kto panu dał tytuł profesorski?”

Kilka miesięcy temu w „Trójce” Polskiego Radia, red. Wojciech Reszczyński przeprowadził rozmowę na różne ważne tematy, w tym o gazie i energetyce jądrowej. Jeden z rozmówców-ekspertów zalecał odstąpienie od zamiaru realizowania energetyki jądrowej „w przestarzałej technologii trzeciej generacji” i sugerował zająć się, czy też poczekać na generację czwartą! Trudno w paru słowach skomentować takie stanowisko. Trudno, bo nie ma ono nic wspólnego ze znajomością rzeczy. Niewykluczone, że to nieporozumienie jest wynikiem dosyć oczywistego braku właściwej konsekwencji w precyzyjnym określaniu „generacji reaktorów jądrowych”. Przeważa, natomiast, propagandowy wymiar tego sformułowania. Widać jednak, że „antyjądrowe” wypowiedzi, bez względu na to jak niekompetentne czy nieuczciwe (zob. słowa: „nieetyczność”, „zastąpiona”, „przestarzałość”) są stosunkowo łatwo rozpowszechniane. A dużo lepiej byłoby, gdyby rozpowszechniana była prawdziwa wiedza o energetyce jądrowej. Wiedza o tym, jak ona jest trudna, że może być niebezpieczna, że jest kosztowna, bo to właśnie bezpieczeństwo kosztuje, że jest wygodna dla operatora systemu, bo nie zależy od pogody i wreszcie o tym, że jeżeli okaże się konieczna, to żadne wybrzydanie na nic się zda, trzeba będzie się jej nauczyć, polubić i ponieść koszty.

Jeżeli wprowadzenie energetyki jądrowej okaże się konieczne, to przed nami długie przygotowania do jej „skonsumowania”. Przygotowania prowadzone w klimacie wybrzydania i podejrzliwości o nieuczciwość, o koniunkturalizm, nie mogą być efektywne i w rezultacie może się okazać, że będzie tak, jak to w 1974 r. usłyszałem od kogoś z rosyjskiej ekipy uruchomieniowej po doświadczeniu krytycznym pierwszego reaktora w Elektrowni Jądrowej Kozłoduj w Bułgarii. Na pytanie: „kiedy wyjeżdżacie do domu?” odpowiedział: „nie znam, nie komu ostatecznie stancji”. (Może ekspert od rosyjskiego oceni, czy to sformułowanie jest prawidłowe) – znam rosyjski i utrzymuję, że dobrze zrozumiałem kogoś z rosyjskiej ekipy.

Wrocław, 25 września 2011 r.
Andrzej Nawrocki

W latach 1972-1990 autor był zaangażowany w realizację EJ Żarnowiec. W pierwszym okresie brał udział w pracach studialnych Zakładu Elektrowni Jądrowych IASE we Wrocławiu. W drugim, z pozycji głównego specjalisty ds. energetyki jądrowej w Wydziale Projektowania Automatyki Elektrowni Jądrowych CNPAE we

Wrocławiu, współ kierował projektem automatyki EJ Żarnowiec (projekt na zlecenie Energoprojektu Warszawa) oraz koordynował przygotowania w zakresie zapewnienia jakości produkcji i dostaw urządzeń automatyki (pod auspicjami Interatomenergo i Megadex'u).

Od redakcji:
**Wyrażone powyżej opinie autora listu
nie są tożsame ze stanowiskiem Redakcji**



WSPOMNIENIE O DR ELŻBIECIE BOUŻYK



W końcu lutego b.r. pożegnaliśmy dr Elżbietę Boużyk, która przez wiele lat (1979 - 2000) pracowała w Zakładzie Radiobiologii i Ochrony Zdrowia Instytucie Badań Jądrowych (następnie ICHTJ) w pracowni kierowanej przez doc. dr hab. Olgierda Rośka. Należała do zespołu, który zapoczątkował w Instytucie prace nad metodami cytogenetycznymi w dozymetrii biologicznej. Początki były

bardzo trudne. Odróżnianie poszczególnych chromosomów w komórkach ludzkich można obecnie przeprowadzić metodą m-FISH i wspomóc się automatycznym wyszukiwaniem komórek mitotycznych oraz komputerową analizą obrazu. Wówczas posługiwano się tzw. metodą prążkową, fotografując komórki w mitozie, wycinając z fotografii poszczególne chromosomy i ustalając na podstawie wzoru prążków, między którymi chromosomami zaszły wymiany, które odcinki zostały utracone. Praca niewyobrażalnie żmudna dla niewprawnego oka. Pani Elżbieta wykonywała ją zachowując pogodę ducha i spędzając przy mikroskopie długie godziny, aby dostarczyć szefowi (i sobie samej) materiału do analizy. Duża część jej dorobku pozostała w opracowaniach wewnętrznych IBJ; w bazie PubMed znajduje się 10 publikacji.

Pracę doktorską p.t.: „Częstości i rozkład aberracji chromosomowych w limfocytach ludzkich napromieniowanych neutronami 14,7 MeV” Pani Elżbieta obroniła 5.06.1991 r. w Wojskowym Instytucie Higieny i Epidemiologii (już po niespodziewanej śmierci doc. Rośka; promotorem pracy został prof. Zenon Bałtrukiewicz).

Po odejściu na emeryturę, mimo nie najlepszego stanu zdrowia, nadal utrzymywała kontakt z zakładem. Przez szereg lat wykonywała analizy dokumentacyjne z zakresu biologii i medycyny dla systemu INIS (International Nuclear Information System) prowadzonego przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej w Wiedniu.

Wspominamy ją jako osobę pracowitą, życzliwą wszystkim, pogodną i koleżeńską.

Koleżanki i koledzy z dawnego Zakładu Radiobiologii
i Ochrony Zdrowia ICHTJ

Prof. Irena Szumiel odznaczona Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski



Fot. Agencja Fotograficzna Luxmedia

W związku z kończącym się Rokiem Marii Skłodowskiej-Curie, prezydent Bronisław Komorowski z Małżonką uczestniczyli w specjalnej uroczystości poświęconej Noblistce. Podczas spotkania prezydent wręczył odznaczenia państwowe wybitnym kobietom nauki polskiej. W gronie 5 kobiet wyróżnionych Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski znalazła się prof. Irena Szumiel, długoletni pracownik ICHTJ.



Fot. Katarzyna Janusz



Fot. Agencja Fotograficzna Luxmedia