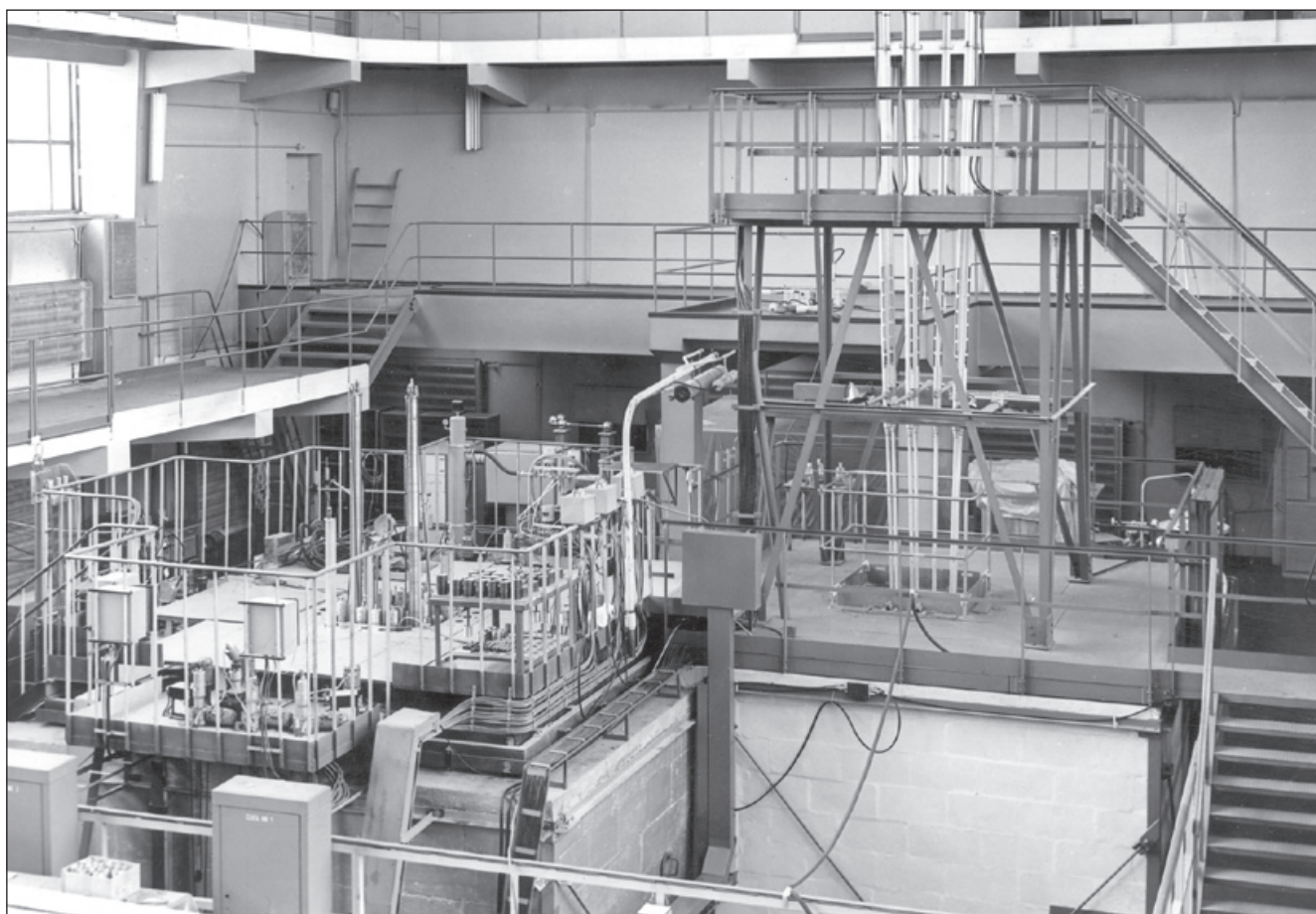


POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 58 Z. 4 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2015



Czytaj str. 2-8

Hala zestawów krytycznych w IBJ: zestawy ANNA (z lewej) i AGATA (z prawej)

4-2015

INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

ZESTAWY KRYTYCZNE (REAKTORY MOCY ZEROWEJ)
W INSTYTUCIE BADAŃ JĄDROWYCH

Andrzej Mikulski 2

PROGRAM ERASMUS +
SZANSĄ DLA MŁODYCH NAUKOWCÓW

Jacek Boguski, Ewa Zwolińska 9

OSZACOWANIE METODAMI EPR, TL I PPSL ODPOWIEDZI
PRÓBEK PRZY WYKRYWANIU POTENCJALNEGO
NAPROMIENIOWANIA ŻYWNOSCI

Grzegorz P. Guzik 13

BUDUJEMY DOM... - OCENA PROMIENIOTWÓRCZOŚCI
NATURALNEJ WYBRANYCH SUROWCÓW I MATERIAŁÓW
BUDOWLANYCHBarbara Piotrowska, Krzysztof Isajenko, Marian Fajak,
Joanna Szymczyk, Maria Krajewska 17BYŁEM W CZARNOBYLU, BYŁEM W FUKUSZIMIE,
BYŁEM W HIROSZIMIE...

Krzysztof Wojciech Fornalski 22

WKŁAD ENERGETYKI JĄDROWEJ
W PRZECIWDZIAŁANIE ZMIANOM KLIMATU
członkowie inicjatywy „Energia Jądrowa na rzecz Klimatu” ... 27REMONTY KAPITAŁNE W KANADYJSKICH
ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Dariusz Witold Kulczyński 33

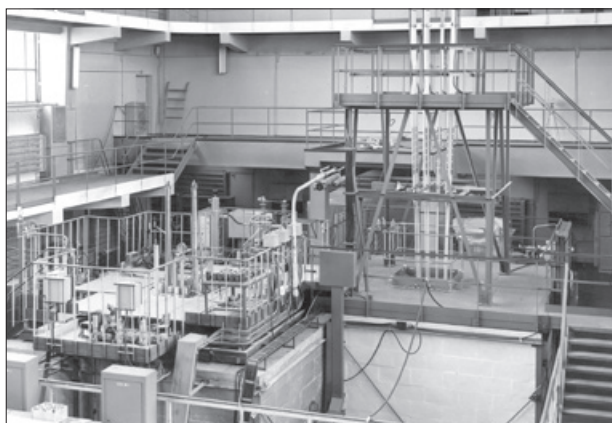
POLIMEROWE KOMPOZYTY
Czy można zastąpić ołów w ochronie radiologicznej?

Wojciech Głuszewski 38

DONIESIENIA Z KRAJU 42

DONIESIENIA ZE ŚWIATA 55

IN MEMORIAM 56



więcej informacji na stronach 2–8

Kwartalnik naukowo-informacyjny
Postępy Techniki Jądrowej

Wydawca:

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

Kontakt Telefoniczny:

Tel. 22 504 12 48

Fax.: 22 811 15 32

Redaktor naczelny:

Stanisław Latek

S.Latek@ichtj.waw.pl

Komitet redakcyjny:

Wojciech Głuszewski

Maria Kowalska

Łukasz Sawicki

Andrzej Mikulski

Marek Rabiński

Edward Rurarz

Elżbieta Zalewska

Redakcja:

PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

Opracowanie graficzne:

Hubert Stańczyk (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.

Skład i druk:

Agencja Reklamowa TOP,

ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek

Szanowni Państwo,

Największe portale internetowe informujące o energetyce jądrowej (NucNet, World Nuclear News) swoje doniesienia z paryskiego szczytu klimatycznego opatrzyły odpowiednio tytułami: „IAEA Calls For Nuclear To Be Part Of COP21 Energy Options” oraz „Nuclear important for sustainable energy future, says IAEA”. W chwili pisania tego tekstu nie znam końcowego tekstu globalnego porozumienia podpisanego na zakończenie 21. Konferencji Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (COP21) w Paryżu. Nie wiem nawet, czy wspomina się w nim o energetyce jądrowej. Komentarze jakie pojawiają się w polskiej prasie i w internecie są bardzo różne. Oto niektóre z nich: „Klimat przegrał z interesami gospodarczymi”, „Nieuchronny upadek węgla”, „Polityka po raz kolejny wygrała z nauką”.

Jako czasopismo zajmujące się problematyką jądrową postanowiliśmy przybliżyć naszym Czytelnikom argumenty środowisk „jądrowych” dotyczące przeciwdziałania zmianom klimatu. Na stronie 27 publikujemy artykuł, którego tytuł w wersji polskiej brzmi następująco: „Wkład energetyki jądrowej w przeciwdziałanie zmianom klimatu”. Oryginalny tekst przygotowany został przez członków inicjatywy pod nazwą Nuclear for Climate. Skrócona wersja owego „position paper”, uzyskała aprobatę ponad 140 regionalnych i narodowych stowarzyszeń jądrowych i towarzystw technicznych.

Aby zachęcić Państwa do lektury omawianego artykułu przytaczam poniżej krótki fragment tekstu odnoszącego się do wzajemnego zapotrzebowania/uzależnienia wykorzystywania energii odnawialnych i energii jądrowej.

„Niezaprzeczalne dostawy energii elektrycznej do konsumentów wymagają skomplikowanego systemu, który zrównoważy podaż i popyt w każdym czasie, przy wykorzystaniu do tego różnych środków: elastyczności różnych technologii wytwarzania, elektrowni wodnych szczytowo-pompowych oraz zarządzania popytem. Zapotrzebowanie na energię elektryczną waha się w ciągu dnia, jak również w różnych porach roku. Rozwój nowych technologii odnawialnych przyczynia się do dekarbonizacji koszyka energii elektrycznej, a jej wytwarzanie również zmienia się w ciągu dnia i pory roku. Elektrownie jądrowe uzupełniają energię ze źródeł odnawialnych, ponieważ zapewniają dostawy energii elektrycznej niskoemisyjnej 24 godziny na dobę (z planowanymi postojami w celach konserwacji). Elektrownie jądrowe pozwalają instalacjom elektrycznym dopasować zmienność energii słonecznej i wiatrowej”

W bieżącym roku, w którym mija 60 lat od powołania Instytutu Badań Jądrowych przypominamy naszym Czytelnikom ważne urządzenia jądrowe wykorzystywane w czasie istnienia IBJ i później. W poprzednich numerach PTJ przedstawiliśmy ważną rolę, jaką w historii Instytutu Badań Jądrowych odegrały reaktory jądrowe EWA i MARIA, a także akcelerator LECH. W bieżącym zeszycie znajdując Państwo artykuł na temat zestawów krytycznych. Okazuje się, że latach 1961-1972 zbudowano w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku k/Warszawy cztery zestawy krytyczne, zwane też reaktorami mocy zerowej znane pod nazwami: ANNA, MARYLA, AGATA i PANNA. Poza tym w 1963 r. zbudowano zestaw podkrytyczny HELENA.

Dr Andrzej Mikulski, autor artykułu podaje wiele ciekawych i ważnych informacji, a także wyjaśnia pochodzenie nazw tych jądrowych urządzeń. Wzruszyłem się znajdując w spisie literatury artykuł na temat kinetyki reaktorowej, którego byłem współautorem. Artykuł opublikowany został w „Nukleonice” w roku 1966 - 50 lat temu!

Drugi w kolejności tekst bieżącego zeszytu „Postępów” jest sprawozdaniem z przebiegu cyklu wykładów zorganizowanych w ramach programu Erasmus+ pt. „Wspólny innowacyjny program szkolenia/nauczania mający na celu rozwój i transfer wiedzy na temat zastosowania promieniowania jonizującego w przetwórstwie materiałów”, który miał miejsce w dniach 7-18 września w IChTJ oraz 27 września - 3 października w Palermo. W programie uczestniczyło 39 studentów i doktorantów z sześciu europejskich krajów, członków Unii oraz Turcji. Treść artykułu urozmaicona została pięknymi fotkami. Zachęcam do lektury.

Kolejny tekst autorstwa Grzegorza P. Guzika zawiera porównanie wiarygodności trzech najważniejszych metod analitycznych stosowanych do wykrywania napromieniowanej żywności. Badano paprykę, małą, krewetki. Konkludując autor stwierdza, że „obecnie, głównie z powodów ekonomicznych producenci żywności i sprzedawcy stosują dawki zmniejszone w porównaniu z zalecanymi dawkami technologicznymi, jedynie do minimalnego poziomu, który jeszcze zapewni skutek konserwacji i bezpieczeństwa mikrobiologiczne żywności. Takie „optymalne” dawki z technologicznego punktu widzenia, prawdopodobnie będą niebawem stosowane na całym świecie i będą dużo niższe niż te zalecane w Kodeksie MAEA”.

Zespół autorów z CLOR-u i Uniwersytetu Warszawskiego w ciekawym artykule przedstawia wyniki badań radioaktywności wybranych surowców i materiałów budowlanych i ocenia możliwość zastosowania ich w budownictwie mieszkaniowym. Oceniono również narażenie osób na promieniowanie jonizujące wynikające z zastosowania tych materiałów w budownictwie mieszkaniowym.

„Byłem w Czarnobylu, byłem w Fukusimie, byłem w Hiroszimie...”. Ten tytuł brzmi tak sensacyjnie, że nie trzeba go reklamować. Może tylko warto dodać, że napisał go dr Krzysztof Wojciech Fornalski, a także zacytować dwa zdania z zakończenia artykułu. „Czarnobyl, Fukusima i Hiroszima – te trzy miejsca zapisały się w historii świata jako wielkie tragedie. Dla przeciętnego człowieka kojarzą się niestety ze „złowrogim promieniowaniem”, co generuje bardzo wiele mitów(...) Okazuje się, że moce dawek są zdecydowanie mniejsze niż można było się tego spodziewać, a w większości miejsc nie ma już żadnego wzrostu radioaktywności, ponad i tak istniejące naturalne tło”.

Tematem kolejnego artykułu autorstwa Dariusza Witolda Kulczyńskiego jest przedłużanie się okresu eksploatacji starzejących się elektrowni jądrowych. Omówiono szczegółowo remonty kapitalne w kanadyjskich elektrowniach jądrowych typu CANDU (PHWR). Zasygnalizowano także zagadnienia związane z wydłużaniem okresu użytkowania reaktorów lekkowodnych.

Ostatni artykuł o kompozytach polimerowych, mogących zastąpić ołów w ochronie radiologicznej napisał nasz kolega redakcyjny Wojciech Głuszewski. Stara się odpowiedzieć na pytanie, czy znacznie droższy bizmut może być powszechnie wykorzystywany do produkcji osłon przed promieniowaniem jonizującym np. w pracowniach radiologicznych.

Krótko o tekstach zamieszczonych w części „Doniesienia z kraju”. Chyba rzeczywiście najciekawsza jest pierwsza informacja o otwarciu Centrum Cyklotronowego BRONOWICE.

Kolejne doniesienie dotyczy konferencji MAĐRALIN 2015. Otóż w sali Pod Kopułą byłego już Ministerstwa Gospodarki dwa siostrzane stowarzyszenia - Polskie Towarzystwo Nukleoniczne (PTN) i Francuskie Stowarzyszenie Energii Jądrowej (SFEN) – zorganizowały w dniach 24-25 listopada wspólną konferencję naukowo-techniczną pod tytułem: pt.: „MAĐRALIN 2015. Wybrane aspekty bezpieczeństwa elektrowni jądrowej w Polsce”. Zdjęcia z konferencji zamieszczamy na okładkach.

Kolejne doniesienia dotyczą m. in. IX Międzynarodowej Warszawskiej Wystawy Wynalazków IWIS 2015, (podczas której Nagroda Główna Grand Prix IWIS 2015 trafiła do rąk wynalazców z Pracowni Zol-Zel Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej) oraz 148 rocznicy urodzin Marii Skłodowskiej Curie.

Informujemy również o nagrodach Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego oraz o spotkaniu w Luksemburgu, gdzie dyskutowaliśmy o ryzyku radiacyjnym.

Szanowni Państwo,

Po konferencji klimatycznej w Paryżu, moim zdaniem, energetyka jądrowa otrzyma silny bodziec do dalszego rozwoju. Mam nadzieję, że zaobserwujemy także renesans/ przyspieszenie realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej.

Redaktor naczelny
Stanisław Latek

ZESTAWY KRYTYCZNE (REAKTORY MOCY ZEROWEJ) W INSTYTUCIE BADAŃ JĄDROWYCH

Critical assemblies (zero-power reactors) at the Institute of Nuclear Research

Andrzej Mikulski

W latach 1961-1972 zbudowano w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku k/Warszawy cztery zestawy krytyczne, zwane też reaktorami mocy zerowej znane pod nazwami: ANNA, MARYLA, AGATA i PANNA. Służyły one do badań w zakresie eksperymentalnej fizyki reaktorów jądrowych w trzech dziedzinach: statyki, kinetyki i szumów (fluktuacji) strumienia neutronów, co w bardziej zrozumiałym języku można określić jako: oceny osiągnięcia stanu krytycznego, odpowiedzi strumienia neutronów na wprowadzenie zaburzenia zewnętrznego i badania procesu stochastycznego rozszczepienia co objawia się wahaniem strumienia neutronów na poziomie ok. plus/minus jednego procenta. Poza tym w 1963 r. zbudowano zestaw podkrytyczny HELENA do badania metod pomiarowych w zakresie statyki reaktorów i jako stałe źródło neutronów do badania produkowanych wówczas w IBJ przyrządów (komór rozszczepieniowych) do pomiaru strumienia neutronów. W artykule opisano budowę i pokrótce prowadzone badania na tych zestawach.

Between 1961-1972 four critical assemblies, also called zero-power reactors, were constructed at the Institute of Nuclear Research (INR) at Swierk (near Warsaw) known under the names: ANNA, MARYLA, AGATA and PANNA. They were used for experiments in the three domains of nuclear reactor physics: static, kinetics and noise measurements. These experiments may be described as operation of a reactor with: steady state of neutron flux, changes in neutron flux due to external disturbance in composition of a reactor material and fluctuation of neutron flux due to stochastic character of a chain reaction in a range of plus/minus one percent. In addition in 1963 a subcritical assembly HELENA was constructed for verification of some measurement methods in reactor physics and as a neutron source for checking of neutron detectors (fission chambers) constructed at the INR. The paper presents the construction and the experiments performed using these assemblies.

Słowa kluczowe: zestaw krytyczny, reaktor mocy zerowej, eksperymentalna fizyka reaktorowa

Key words: critical assembly, zero-power reactor, experimental reactor physics

Wprowadzenie

Cztery numery PTJ w 2015 r. poświęcone zostały historii Instytutu Badań Jądrowych (IBJ) w Świerku w związku z 60-tą rocznicą jego powstania. Kolejno omówione zostały reaktory badawcze EWA i MARIA, akcelerator LECH, a teraz przyszła kolej na zestawy krytyczne, zwane inaczej reaktorami mocy zerowej. Zbudowanie i uruchomienie w latach 1961-1972 czterech zestawów krytycznych (wymienionych w porządku chronologicznym ich budowy) tj. ANNA, MARYLA (wraz z odmianą znaną jako UR-100), AGATA i PANNA (opisywanego też jako P-ANNA, czyli zestaw prędko-termiczny) oraz piątego zestawu podkrytycznego HELENA trzeba uznać za spory sukces projektowo-konstrukcyjny w tamtych latach. Od razu pojawia się pytanie. Dlaczego aż pięć zestawów i jakie były cele tego wysiłku konstrukcyjnego. Otóż zestaw ANNA powstał jako przygotowanie budowy drugiego reaktora badawczego w kształcie, jakim miał być, czyli dużego bloku grafitowego z kanałami paliwowymi. Zestaw MARYLA to otwarty basen wodny z elementami paliwowymi jako prototyp konstrukcji przewidzianej do powielania w różnych ośrodkach uniwersyteckich w kraju¹, a zestawy takie miały być oznaką nowoczesności i prestiżu danej czelni.

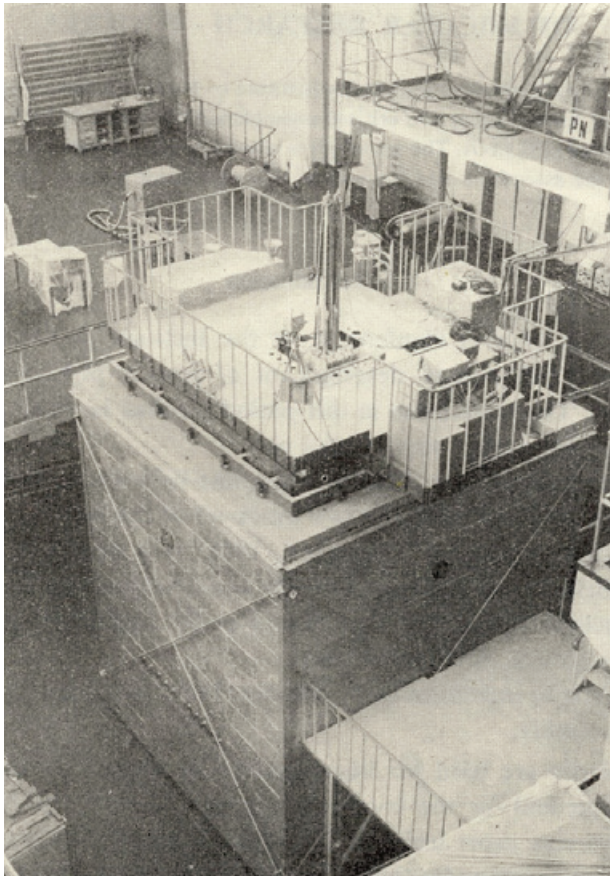
Niestety po latach okazało się to nieprawdą, tematyka badań związanych z fizyką reaktorową (badania reakcji rozszczepienia i nowych metod pomiarowych) szybko się wyczerpała, a zapotrzebowania związane z budową elektrowni jądrowych (przede wszystkim badania materiałowe) bądź produkcją izotopów promieniotwórczych wymagały reaktorów o znacznie większej mocy i zapotrzebowanie na reaktory zerowej mocy (zestawy krytyczne) okazało się ograniczone do podstawowych celów szkoleniowych. Zestaw AGATA powstał po zmianie koncepcji budowy drugiego reaktora badawczego, czyli reaktora MARIA jako bloku berylowego z kanałami paliwowym. Zestaw podkrytyczny HELENA został zbudowany przede wszystkim dla badania różnych konfiguracji rozmieszczenia paliwa i moderatora, porównania różnych metod pomiarowych oraz jako stałe źródło neutronów.

Dalej zostaną opisane wymienione wyżej konstrukcje oraz (znane autorowi) badania przeprowadzane z ich wykorzystaniem. Budowa tych konstrukcji opierała się wyłącznie na krajowej myśli technicznej i konstrukcyjnej z wykorzystaniem możliwości polskiego przemysłu, a tylko paliwo jądrowe było importowane z b. ZSRR (jedyne dostępnego wtedy kierunku zakupów).

Zestaw krytyczny ANNA

Budowa i doświadczenie krytyczne

Pierwszy zestaw krytyczny ANNA (fot.1) zbudowany został w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku w latach 1961-63 w specjalnie wybudowanej hali zestawu krytycznego w budynku inżynierii reaktorowej, który w latach późniejszych dzięki dużemu napisowi CYFRONET na ścianie obok wejścia zyskał drugą nazwę².



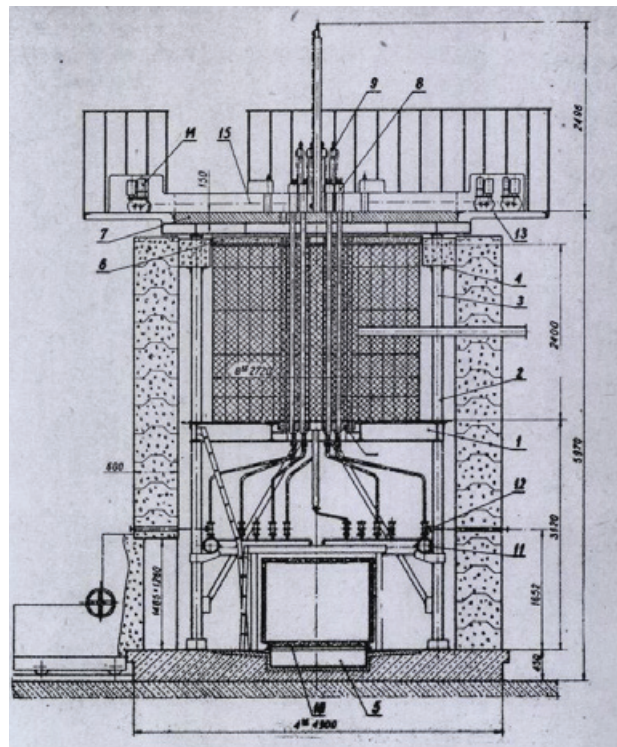
Fot.1. Widok zestawu krytycznego ANNA

Photo 1. General view of ANNA critical assembly

Zestaw ANNA zbudowany był z bloków grafitowych o wymiarach 14 x 14 cm i długości 245 cm tworzących ośmiobok o średnicy 270 cm. W centralnych blokach znajdował się otwór o średnicy 7,5 cm dla umieszczenia w nim elementu paliwowego. Element paliwowy składał się trzech koncentrycznych rur o długości 100 cm zawierających uran o wzbogaceniu 20% w izotop U-235 i był połączony z układem napełniania wodą. Dwa elementy paliwowe połączone były z układem pozwalającym na wciąganie ich do rdzenia reaktora i stanowiły pręty kontrolne i pręty bezpieczeństwa. Poza tym zainstalowano cztery pręty bezpieczeństwa wykonane z węgliku boru i umieszczone w otoczeniu centralnego elementu paliwowego. Rdzeń reaktora otoczony był reflektorem grafitowym oraz osłoną biologiczną, przekrój pionowy reaktora przedstawia rys.1. Zestaw wyposażono w silne źródło neutronów (Ra- α -Be) umieszczone w dolnym reflektorze w celu sprawnego prowadzenia jego rozruchu. System zabezpieczeń i sterowania

składał się z dwóch linii impulsowych, jedna z komorą rozszczepieniową i druga z borowym licznikiem proporcjonalnym (licznik wypełniony gazem z BF_3), dwóch linii proporcjonalnych z komorami jonizacyjnymi i dwóch linii logarytmicznych z komorami prądowymi, a wszystkie detektory były zlokalizowane w reflektorze. Poza tym zbudowano system dozymetryczny z sześcioma komorami gamma umieszczonymi w różnych miejscach hali zestawu.

Zbudowanie zestawu poprzedzone było szeregiem obliczeń teoretycznych w oparciu o dwu-grupową teorię dyfuzji w przestrzeni dwuwymiarowej przy założonej homogenizacji nie bacząc na silnie heterogeniczną strukturę rdzenia reaktora. Przy redukcji obliczeń do dwóch wymiarów przestrzennych trzeci uwzględniano przy pomocy eksperymentalnie wyznaczonego tzw. parametru materiałowego w kierunku wysokości rdzenia, który dostatecznie dokładnie oszacowano w obliczeniach jednowymiarowych, z błędem 2,7% w stosunku do obliczeń.



Rys.1. Przekrój przez zestaw krytyczny ANNA

Fig. 1. Cross-section of ANNA critical assembly [1]

1 - płyta wsporcza, 2, 3, 4 - konstrukcje wsporcza, 5 - fundament, 6 - warstwa parafiny z borem, 7 - płyta żeliwna, 8 - kanał paliwowy, 9 - pręt sterujący, 10 - zbiornik zrzutowy wody, 11 - kolektor zbiorczy z kanałów paliwowych, 12 - zawory, 13 - górna platforma, 14, 15 - elementy napędu pręta bezpieczeństwa (silnik iciągno)

Zdając sobie sprawę z dużych niepewności obliczeń krytyczności podjęto szereg środków ostrożności i procedura dochodzenia do krytyczności trwała od 6 do 12 czerwca 1963 r. i ten ostatni dzień liczy się jako przeprowadzenie doświadczenia krytycznego. Na okres tego doświadczenia zainstalowano dodatkowe cztery linie pomiarowe z borowymi licznikami proporcjonalnymi rozmieszczonymi wokół rdzenia w pozycjach dających możliwość pomiaru neutronów powstających w rdzeniu, a nie pochodzących bezpośrednio ze źródła. Po-

miary zliczeń z linii stacjonarnych i dodatkowych liczników służyły do wyznaczenia tzw. odwrotnej krzywej mnożenia, która określa liczbę elementów paliwowych przy której nastąpi osiągnięcie stanu krytycznego, czyli ustanowienie samopodtrzymującej się reakcji łańcuchowej. Przygotowano 25 elementów paliwowych do załadowania w siatce kwadratowej 5 x 5. Procedura ładowania paliwa była następująca:

- 1) przesunięcie ruchomego elementu paliwowego w dolne położenie,
- 2) wstawienie kolejnego stałego elementu do rdzenia,
- 3) stopniowe podnoszenie ruchomego elementu paliwowego,
- 4) pomiar strumienia neutronów,
- 5) analiza odwrotnej krzywej mnożenia i obliczenie nowej masy krytycznej i liczby potrzebnych elementów paliwowych do załadowania do rdzenia w następnym kroku do osiągnięcia stanu krytycznego z tym, że dla celów zachowania bezpieczeństwa umieszczano w rdzeniu tylko połowę tak obliczonej liczby elementów.

W celu określenia efektywności prętów bezpieczeństwa po każdym załadunku elementu paliwowego określano efektywność pojedynczego pęta bezpieczeństwa i czterech prętów bezpieczeństwa obliczając w tych warunkach masę krytyczną. Masę krytyczną odpowiadającą tej konfiguracji rdzenia określono na 15,6 elementów paliwowych, zatem 16-ty element prowadzony został tylko do wysokości 60 cm. Niestety opis doświadczenia krytycznego nie podaje wartości teoretycznej osiągnięcia krytyczności i nic nie można powiedzieć o dokładności obliczeń. Czytając teraz ten opis można stwierdzić jedynie, że doświadczeniu krytycznemu towarzyszyło duże napięcie nerwowe, ale to nic dziwnego, było to pierwsze samodzielnie zrealizowane doświadczenie krytyczne w Polsce.

W dalszej kolejności przeprowadzono pomiary efektywności ruchomego elementu paliwowego i czterech prętów bezpieczeństwa wyznaczając ich wagi reaktywnościowe, czyli określono jaką ujemną reaktywność³ wprowadzając do rdzenia. Zrealizowano to dwoma metodami, czyli wykreślając odwrotną krzywą mnożenia i metodą zrzutu pręta. W stanie krytycznym przeprowadzono pomiary rozkładu strumienia neutronów termicznych i prędkich w zestawie krytycznym oraz pomiary rozkładu wewnątrz pojedynczego elementu paliwowego. Na zakończenie określono trzema metodami efektywny strumień neutronów termicznych w środku zestawu równy $6 \cdot 10^6$ n/(cm²s).

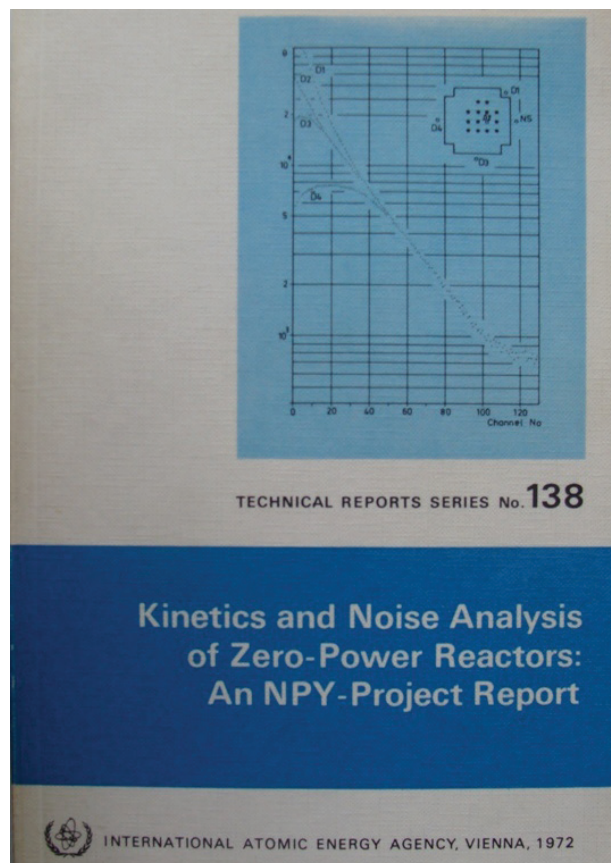
I na tym opis doświadczenia krytycznego [1] przygotowany, jako Referat na sympozjum MAEA w Amsterdamie się kończy, a dzień 12 czerwca 1963 r. przyjmuje się za początek wykorzystywania zestawu ANNA do przeprowadzenia wielu eksperymentów w fizyce reaktorowej w Polsce. Dla autora, który praktycznie rozpoczął pracę w IBJ we wrześniu tegoż roku pozostały jeszcze interesujące w tym referacie dwie długie listy: jego autorów (15 osób) i osób wymienionych na końcu w podziękowaniu (17) z którymi przez wiele lat później autor tego artykułu współpracował.

Projekt NPY

Zestaw krytyczny ANNA włączony został, jako jedno z trzech urządzeń badawczych (poza tym z Polski był jeszcze zestaw podkrytyczny HELENA) do projektu badawczego współfinansowanego przez MAEA znanego pod kryptonimem

mem NPY, od trzech krajów w nim uczestniczących tj. Norwegii, Polski i Jugosławii. Był to chyba jeden z pierwszych (jeśli nie pierwszy) projekt badawczy MAEA w dziedzinie fizyki reaktorowej realizowany przez Instytut Energii Atomowej w Kjeller (Norwegia), Instytut Badań Jądrowych w Świerku (Polska) i Instytut Nauk Jądrowych „Boris Kidric” w Vinca k/ Belgradu (Jugosławia) realizowany w latach 1964-1971. Cele projektu zostały sformułowane następująco:

- (1) wymiana informacji, raportów technicznych, programów obliczeniowych i wyspecjalizowanego wyposażenia,
- (2) wspólne prowadzenie eksperymentów w dziedzinie fizyki reaktorowej, wymiana specjalistów w celach szkoleniowych i wspólnie prowadzonych prac,
- (3) organizacja letnich szkół w dziedzinie fizyki reaktorowej i wyspecjalizowanych seminariów.



Fot. 2. Strona tytułowa raportu Project-NPY

Photo 2. Front page of An NPY- Project Report

Projekt NPY w owym czasie stanowił istotne poszerzenie tematyki prac badawczych związanych z zestawami krytycznymi skupiającej się na statyce neutronów (czyli osiągnięciu reakcji łańcuchowej) i kierował uwagę na dwa nowe zagadnienia czyli badania kinetyki i fluktuacji strumienia neutronów w czasie, tj. zmian strumienia neutronów w czasie pod wpływem czynników zewnętrznych i bardzo niewielkich zmian strumienia wywołanych losowym (stochastycznym) charakterem reakcji łańcuchowej rozszczepienia. Nowe kierunki badań wynikały po prostu z wprowadzenia możliwości technicznych pomiaru zmian strumienia neutronów w krótkich albo bardzo krótkich odstępach czasowych. Sprawozdanie z realizacji tego projektu [2] zawiera pięć rozdziałów, które dotyczą:

- 1) teorii reaktorów mocy zerowej, a dokładnie sposobów obliczeń strumienia neutronów (na poziomie możliwości obliczeniowych tamtych lat z wykorzystaniem uproszczonych modeli teoretycznych),
- 2) pomiarów reaktywności, czyli określenia stanu reaktora za pomocą jednego parametru w odniesieniu do stanu krytycznego, czyli utrzymywania się łańcuchowej reakcji rozszczepienia na stałym poziomie i tym parametrem jest tzw. reaktywność,
- 3) zastosowania impulsowych źródeł neutronów w badaniu kinetyki reaktorów polegającej na dostarczeniu pewnej porcji neutronów (impulsu) do ośrodka mnożącego i badaniu jego zachowania w takiej sytuacji,
- 4) badania statystyki pojedynczych zliczeń impulsów w detektorze neutronów i określania na tej podstawie parametrów charakteryzujących zachodzącą reakcję łańcuchową,
- 5) badania zmian prądu z detektora neutronów również w celu określania podstawowych parametrów zachodzącej reakcji łańcuchowej.

Powyższe krótkie wyliczenia kierunków badań nie oddają wysiłku włożonego w realizację tego projektu, który pozwolił na doskonalenie metod obliczeniowych i eksperymentalnych oraz na porównanie wyników między trzema, bardzo różnymi zestawami krytycznymi, którymi był: lekko-wodny zestaw NORA w Norwegii, grafitowo-wodny zestaw ANNA w Polsce i ciężko-wodny zestaw RB w Jugosławii. Projekt zaowocował wydaniem podstawowej publikacji o pomiarach kinetyki i analizie szumowej w reaktorach mocy zerowej [2] podsumowującej te zagadnienia na ówczesnym poziomie wiedzy, a której okładkę pokazuje fot. 2.

Prace badawcze w dziedzinie kinetyki reaktorowej z wykorzystaniem zestawu ANNA i impulsowego źródła neutronów prowadzone były bardzo intensywnie w latach 1963-65 zarówno od strony teoretycznej jak i praktycznej co zostało opisane [3,4] i co zaowocowało wykonaniem szeregu prac magisterskich i doktorskich. W tym miejscu chciałbym wymienić modyfikację jednej z metod określania podkrytyczności znanej z zestawów prędkich dla zestawów termicznych opisywaną tutaj jako warunkową metodę Rossi- α i pomysł badania różnych metod pomiarowych z wykorzystaniem symulowanego metodą Monte Carlo procesu rejestracji zliczeń w detektorze impulsowym przy realizacji których autor czynnie uczestniczył. Trzeba powiedzieć, że w tamtych czasach były to prace nowatorskie, a obecnie spotyka się w literaturze odniesienie do nich, ale już na wyższym poziomie jaki zapewnia rozwój nowoczesnej techniki obliczeniowej i pomiarowej.

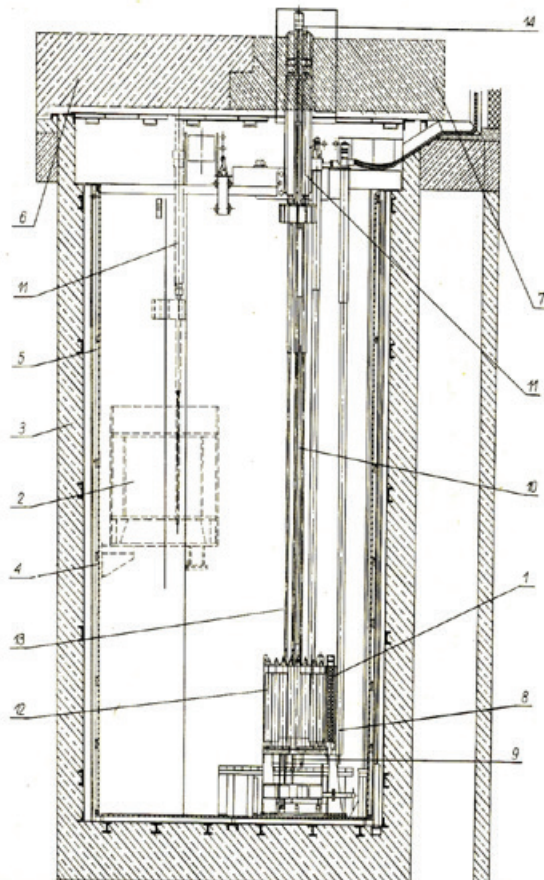
Zestaw P-ANNA

W latach późniejszych, w marcu 1972 r. uruchomiono dwustrefowy zestaw krytyczny oznaczony skrótem PANNA (albo P-ANNA czyli PRĘDKA-ANNA), zawierający strefę centralną wypełnioną uranem naturalnym bez moderatora, o twardym widmie neutronów, otoczoną pierścieniową strefą termiczną, pod względem parametrów siatki identyczną z poprzednim rdzeniem zestawu ANNA. W rdzeniu wyznaczono szereg wielkości doświadczalnych takich jak: masa krytyczna, rozkłady radialne gęstości rozszczepień i szybkości reakcji dla detektorów aktywacyjnych (progowych, rezonansowych i termicznych). Wskaźniki

widmowe dla detektorów rozszczepieniowych oraz rozkłady osiowe szybkości reakcji i wynikające z nich wartości składowej osiowej parametru materiałowego (B_2^2). Wyniki doświadczalne porównywano bezpośrednio z wynikami obliczeń krytycznych i widmowych zestawu P-ANNA uzyskanych za pomocą napisanych w IBJ (własnych) kodów obliczeniowych MIXER i EWA-I. [5].

Zestaw krytyczny MARYLA [6]

Drugim chronologicznie zestawem w IBJ był zestaw MARYLA zlokalizowany w hali reaktora EWA. Był to zestaw podstawowy o mocy do 250 W przeznaczony do badania możliwości pracy reaktora EWA na zmiennej mocy i jej zwiększenia poprzez dodanie reflektora grafitowego. Elementy paliwowe typu EK-10 (wzbogacenie 10%), bloki grafitowe lub kanały eksperymentalne były rozmieszczane w matrycy o 80 pozycjach. Reaktor wyposażony został w dwa systemy zabezpieczeń, pierwszy polegał na wprowadzeniu do rdzenia wszystkich prętów sterujących i bezpieczeństwa po przekroczeniu ustalonego wzrostu mocy o 20%, a drugi (przy pracy zestawu na mocy powyżej 20 W) powodował dodatkowo usunięcie z rdzenia jednego z centralnych elementów paliwowych. Podstawowa konfiguracja rdzenia składała się z 20 elementów paliwowych otoczonych reflektorem grafitowym. Reaktor osiągnął po raz pierwszy stan krytyczny 29 grudnia 1963 r. Przekrój przez basen reaktora pokazany jest na rys.2 z zaznaczeniem dolnego położenia jako MARYLA-1.



Rys.2. Przekrój przez zestaw krytyczny MARYLA [4]
(widoczne dwa możliwe położenia rdzenia reaktora: górne i dolne)
Fig.2. Cross-section of MARYLA critical assembly [4]
(two possibilities of a core location: upper and lower)

Wkrótce pojawiła się nowa możliwość modernizacji podobnych reaktorów (typu WWR-S) zbudowanych w b. Związku Radzieckim, Czechosłowacji, na Węgrzech i b. NRD poprzez zastosowanie innego paliwa. Badanie tego paliwa przeprowadzono wykorzystując basen zestawu MARYLA i posiadaną aparaturę, umieszczając rdzeń w połowie głębokości basenu (górne położenie na rys.2) jako zestaw MARYLA-2. W celach badawczych stan krytyczny mógł być również osiągany poprzez zmianę poziomu wody w zbiorniku zestawu. Pierwsze doświadczenie krytyczne przeprowadzono 12 lutego 1967 r. W sumie przebadano 181 różnych konfiguracji, w geometriach czystych (bez prętów regulacyjnych) i roboczych (z prętami regulacyjnymi, reflektorem berylowym, pałapkami wodnymi i o siatce rozrzedzonej) wykonując pomiary rozkładu strumienia neutronów i temperaturowego współczynnika reaktywności. Wyniki tych badań posłużyły do modyfikacji tych reaktorów określanych symbolem WWR-SM i pozwalających na pracę z mocą do 10 MW.

W następnym okresie wykorzystano basen do przeprowadzenia doświadczenia krytycznego modelu reaktora uniwersyteckiego UR-100, o mocy 100 kW. Planowana jego budowa w AGH w Krakowie nie została zrealizowana, na skutek ograniczeń w lokalizacji na terenie miasta oraz odejścia od energetyki jądrowej w Polsce.

Zestaw MARYLA został zdemontowany w połowie lat 70-tych ubiegłego wieku.

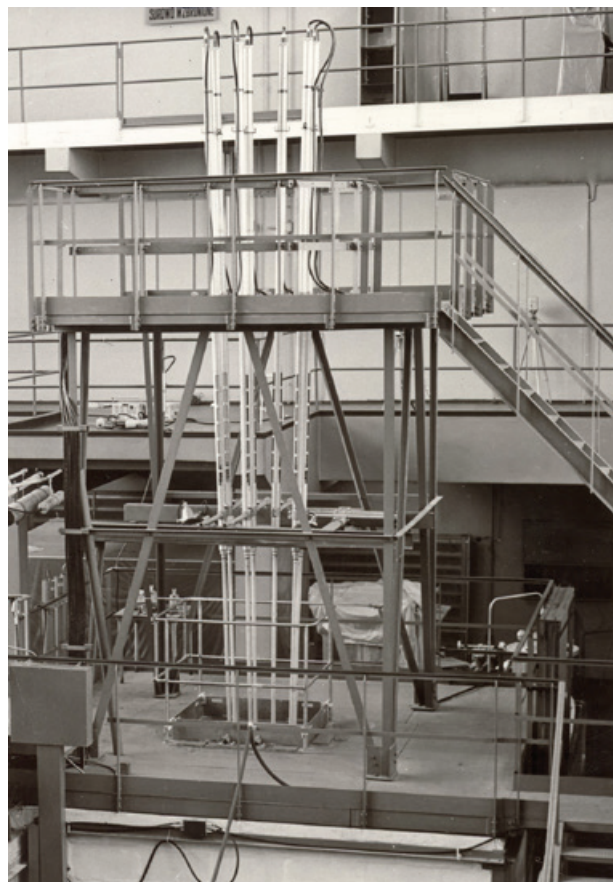
Zestaw krytyczny AGATA

Zmiana koncepcji budowy drugiego polskiego reaktora badawczego wymagała zbudowania jego odpowiednika w postaci zestawu krytycznego (takie postępowanie było normą w tamtych czasach, gdy metody obliczeniowe fizyki reaktorów były w początkowym okresie rozwoju). IBJ nie dysponował wtedy osobną halą badawczą i zestaw umieszczono obok zbudowanego wcześniej zestawu ANNA (fot.3).

Zestaw Agata zbudowany był z bloków berylowych otoczonych reflektorem z bloków grafitowych. W każdym bloku berylowym był otwór na umieszczenie pięcio-rurowego zestawu paliwowego o wzbogaceniu 80%. Widok z góry na rdzeń reaktora pokazuje fot.4. Zestaw AGATA był wierną kopią rdzenia i reflektora działającego obecnie reaktora MARIA z wyjątkiem zmiany na paliwo sześć-rurowe w momencie uruchomienia (a obecnie stosowane jest pięcio-rurowe paliwo produkcji francuskiej).

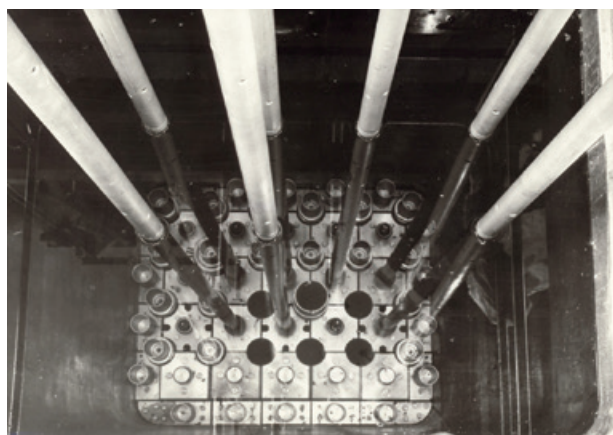
Zestaw AGATA przeznaczony był, podobnie jak zestaw ANNA, do pomiarów w zakresie statyki i kinetyki neutronów z wykorzystaniem wcześniej opracowanych metod pomiarowych, ale nie znalazło to tak szerokiego zakresu publikacji jak dla zestawu ANNA, gdyż metodyka pomiarowa była już znana. Dodatkowo badano w tym reaktorze (w późniejszym terminie) makiety pętli wodnych, które przeznaczone były dla reaktora MARIA.

Zestaw AGATA został zdemontowany w połowie lat 80-tych ubiegłego wieku.



Fot. 3. Widok zestawu krytycznego AGATA

Photo 3. General view of AGATA critical assembly



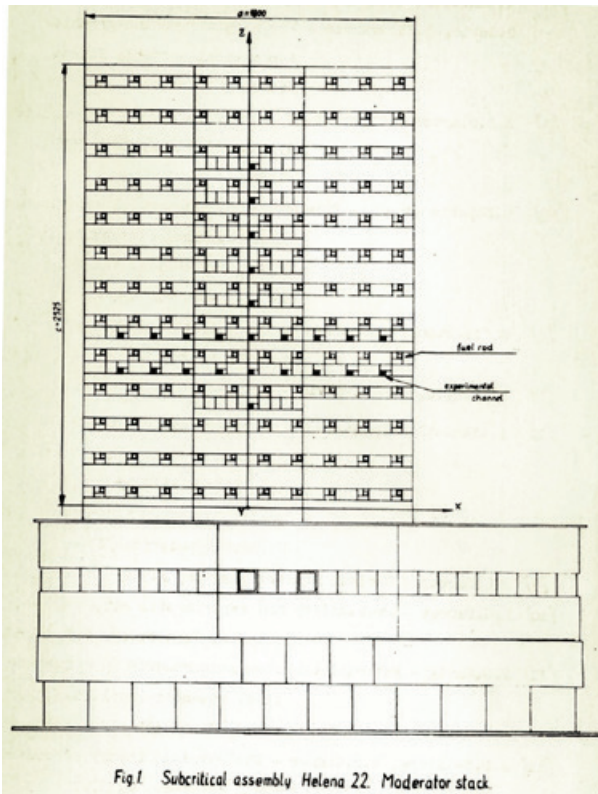
Fot. 4. Zestaw krytyczny AGATA: bloki berylowe w rdzeniu i pręty sterujące

Photo 4. Critical assembly AGATA: view of beryllium blocks in a core and control rods

Zestaw podkrytyczny HELENA

Zestaw podkrytyczny HELENA został zbudowany w ramach projektu NPY w 1963 r. z przeznaczeniem do badania różnych parametrów fizycznych w siatkach z naturalnego uranu umieszczonych w graficie [7]. Zestaw został umieszczony w podpiwniczeniu hali zestawów krytycznych w budynku Inżynierii Reaktorowej IBJ. Moderator grafitowy ułożony był z bloków grafitowych o różnych wymiarach poprzecznych i stałej długości 60 cm. Paliwo jądrowe stanowiły pręty wykonane z naturalnego uranu w osłonie (ko-

szulce) aluminiowej o długości 300 mm i średnicy 25 mm, które układane jeden za drugim w otworach siatki grafitowej stanowiły elementy paliwowe o dowolnej długości do 240 cm. W pierwszej fazie, czyli w okresie od września 1963 r. do lutego 1964 r. wykorzystywano zestaw o konstrukcji pokazanej na rys.3. Dokonano wtedy zasadniczych pomiarów układu uranu naturalny-grafit w oparciu o znane z literatury metody pomiarowe, a w tym metodą dwóch płaszczyzn równoległych [8]. Następnie zestaw przebudowano do konfiguracji pokazanej na rys.4. Ogółem przebadano 15 różnych konfiguracji, które różniły się wymiarami zewnętrznymi w zakresie do 240 x 240 x 200 cm., skokiem siatki, długością tzw. kanałów paliwowych, poza tym istniała możliwość wprowadzania pustych przestrzeni (kanały bez paliwa). System kanałów poziomych rozmieszczonych prostopadle do kanałów paliwowych pozwalał na pomiary strumienia neutronów z wykorzystaniem liczników z BF_3 lub folii aktywacyjnych. Poniżej zestawu w tzw. podstawie umieszczane było źródło rad-beryl z mechanicznym urządzeniem do zdalnego wsuwania i wysuwania. Istniała możliwość przykrywania ścian płytami kadmowymi by ograniczyć odbicia neutronów. W zestawie badano efekty otworów wypełnionych powietrzem, anizotropii rdzenia podkrytycznego i wpływu wymiarów zestawu na dokładność określenia parametru materiałowego. Zestaw mógł też służyć celom edukacyjnym. Fot.5 pokazuje cały zespół pracowników Zakładu Fizyki Reaktorowej IBJ (IXA) zaangażowanych przy budowie zestawu HELENA z jego pomysłodawcą doc. dr hab. Cyryłem Dąbrowskim.



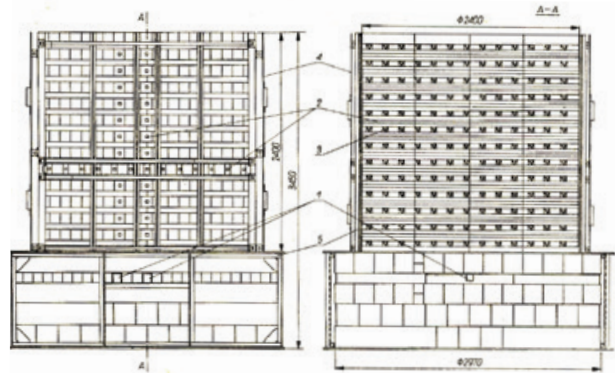
Rys.3. Pierwotna konstrukcja zestawu podkrytycznego HELENA [8] (widoczne otwory na wprowadzenie prętów paliwowych i detektorów neutronów)

Fig.3. Initial scheme of subcritical assembly HELENA [8] (view of holes for fuel rods and neutron detectors)

W roczniku IBJ z 1972 r. można przeczytać opis dalszych prac wykonanych z wykorzystaniem zestawu HELENA [5].

Przewidywane potrzeby oprzyrządowania reaktorów energetycznych wymagają m.in. stosowania detektorów neutrono-

wych odpornych na wysoką temperaturę. Na przykładzie dwóch typów rozszczepieniowych komór jonizacyjnych, przebadanych w zakresie temperatur 20°-600°C w specjalnej sondzie (pracującej w strumieniu neutronów podkrytycznego zestawu HELENA) – opracowano konstrukcję i technologię komór jonizacyjnych przeznaczonych do długotrwałej pracy w temperaturze ok. 400°C. Opracowane przy tych badaniach technologie ułatwiły równocześnie skonstruowanie specjalnych – zminiaturyzowanych o średnicy 5,5 mm – komór rozszczepieniowych do pomiarów wewnątrz-rdzeniowych, poddanych następnie badaniom w reaktorze WWER w siłowni Rheinsberg (NRD).



Rys. 4. Udoskonalona konstrukcja zestawu podkrytycznego HELENA [9]
Fig. 4. Modified construction of subcritical assembly HELENA [9]



Fot. 5. Zespół budowniczych zestawu podkrytycznego HELENA w 1963 r. pierwszy rząd: Kazimierz Bukowski, Marian Zwierzyński, Andrzej Mikulski, Olga Kabat, Obrad Sotić, Magdalena Ivković, Zoran Zdravković, Andrzej Szechter, Jadwiga Jabłońska i Jerzy Tomeczek drugi rząd: Kazimierz Lewicki, Piotrowski, Czesław Bobrowski i Cyryl Dąbrowski trzeci rząd: Szymański, xxx, Wiesław Skrzypczak

Photo 5. Staff of persons working for construction of subcritical assembly HELENA in 1963.

First row (from the left): Kazimierz Bukowski, Marian Zwierzyński, Andrzej Mikulski, Olga Kabat, Obrad Sotić, Magdalena Ivković, Zoran Zdravković, Andrzej Szechter, Jadwiga Jabłońska i Jerzy Tomeczek Second row: Kazimierz Lewicki, Piotrowski, Czesław Bobrowski i Cyryl Dąbrowski Third row: Szymański, xxx, Wiesław Skrzypczak

Około 1980 r. zestaw HELENA został zdemonstrowany, a paliwo odpowiednio zabezpieczono (przeniesiono do magazynu w reaktorze MARIA).

Zakończenie

Obecnie informacje o zestawach krytycznych w IBJ są łatwo dostępne na stronie internetowej Narodowego Centrum Badań Jądrowych i portalu "Poznaj atom" oraz ukazały się również na ten temat dwa artykuły. Niestety informacje w nich zawarte nie pochodziły z pierwszej ręki i zawierają szereg nieścisłości, które należy sprostować. Przykładowo można przeczytać następujące informacje:

- (1) w wielu miejscach napisano:
 - «Uzyskane kompetencje [przy eksploatacji reaktora EWA] zaowocowały nie tylko wybudowaniem czterech zestawów krytycznych, w tym na neutrony prędkie...» [10],
 - «Przed uruchomieniem reaktora „Maria” 17 grudnia 1974 roku w instytutach w Świerku zbudowano i uruchomiono szereg zestawów krytycznych i tzw. reaktorów mocy zerowej: „Maryla” (dwie wersje), „Anna”, „Prędką Anna” (pierwszy i jedyny polski reaktor prędkie), „UR-100” oraz „Agata” » [11],
 - «Na terenie dzisiejszego Narodowego Centrum Badań Jądrowych, od początków historii ośrodków (1958 rok) działało sześć reaktorów: Maryla, Anna, Agata, UR-100, Ewa i Maria » [12],
 - «P-ANNA pierwszy polski zestaw prędkie» [13],
 - «Zestaw ANNA był wykorzystywany do badań neutronów prędkich» [14],

zestaw PANNA nie może być określony jako „pierwszy i jedyny polski reaktor prędkie”, gdyż była w nim tylko strefa prędką otoczona strefą termiczną, i składała się z elementów paliwowych zawierających uran naturalny, a jak wiadomo reaktory prędkie pracują na uranie wysoko wzbogaconym – i to jest zasadnicza różnica

- (2) «Ostatnim dzieckiem polskiej technologii jądrowej był reaktor UR-100» [13],
Reaktora UR-100 nie można traktować jako osobnego urządzenia, gdyż nigdy nie został zbudowany, chociaż były takie poważne plany uruchomienia go na AGH w Krakowie.
- (3) «Reaktor Anna (...) posiadał moc cieplną 10 kW, własny system chłodzenia, własną sterownię oraz osobny budynek reaktora, współdzielony z reaktorem Agata. (...) Pracował na paliwie reaktora EWA (typu EK-10) produkcji ZSRR. » [15],
Reaktor mocy zerowej ANNA nigdy nie posiadał systemu chłodzenia, a tylko układ napełniania kanałów paliwowych wodą, pierwszy w hali zestawów krytycznych był zestaw ANNA i on raczej współdzielił lokalizację z zestawem AGATA oraz pracował na paliwie w postaci trzech koncentrycznych rur a nie paliwa prętowego z reaktora EWA.

Niech materiał ten będzie próbą odtworzenia, możliwie najdokładniejszą, historii zestawów krytycznych, reaktorów mocy zerowej: ANNA, MARYLA, AGATA i PANNA oraz zestawu podkrytycznego HELENA w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku, których oprócz drugiego zestawu były zlokalizowane w Zakładzie Fizyki Reaktorowej. Przy pierwszym i ostatnim z nich wiele lat autor przepracował, natomiast drugi znajdował się w Zakładzie Eksploatacji Reaktora EWA, a trzeci i czwarty powstawały w czasie zagranicznego wyjazdu stypendialnego autora.

dr inż. Andrzej Mikulski
emerytowany pracownik IBJ, IEA i PAA

LITERATURA

- [1] Some Experimental Characteristic of the Graphite-Water Moderated Critical Assembly for the Second Polish Research Reactor, IAEA Symposium on Exponential and Critical Experiments (SM-42/61), Amsterdam, 2-6 September 1963.

- [2] Kinetics and Noise Analysis of Zero-Power Reactor: An NPY-Project Report, IAEA TRS Series No.138, IEA, Vienna, 1972.
- [3] Progress in Reactor Kinetics at Institute of Nuclear Research in Swierk, J. Boużyk, K. Bukowski, W. Ciechanowicz, J. Kubowski, S. Latek, W. Suwalski, B. Szczechla, J. Topa, Nukleonika, t.XI, Nr 4/1966, pp.241-264
- [4] The Reactor Parameters Measurements Using Pulsed Neutron Source, S. Chwaszczewski, K. Dybowski, A. Szechter, Nukleonika, t.XI, Nr 4/1966, pp. 265-275
- [5] Rocznik IBJ 1972, Raport IBJ 1477/DN/B, s.150
- [6] Zestaw krytyczny MARYLA – jego rola w zwiększeniu mocy reaktora EWA, J. Kozieł, M. Wojciechowski, PTJ, nr 22, 1978, pp. 443-458
- [7] The Natural Uranium-graphite Subcritical Assembly HELENA: K. Bukowski, W. Dąbek, C. Dąbrowski, M. Ivkovic, K. Lewicki, O. Sotic, Z. Zdravkovic., Report IBJ No 0-183/IXA, July 1964
- [8] Determination of the Material Buckling in the HELENA Subcritical Assembly by Two Parallel Planes' Metod, A. Mikulski, IBJ Report No 553/IXA, 1964
- [9] Critical and Exponential Assemblies at the Institute of Nuclear Research – Swierk, L. Adamski, T. Bajbor, W. Dąbek, J. Kozieł, W. Suwalski, Nukleonika, t. IX, Nr 7-8/1964, pp. 539-550
- [10] EWA i MARIA świadectwem kompetencji polskich naukowców, ncbj.gov.pl, 2015.02.24
- [11] „Maria” dostała pozwolenie na kolejne 10 lat pracy, ncbj.gov.pl, 2015.04.08
- [12] Anna, Agata i Maryla – starsze siostry pracującej Marii, Poznaj atom, wtorek, 04 czerwca 2013
- [13] ANNA, AGATA, MARYLA – zapomniane polskie reaktory, K. W. Fornalski, EKOATOM nr 8, Marzec 2013
- [14] Zestawy krytyczne - Reaktory doświadczalne, K. Rzymkowski, EKOATOM nr 10, wrzesień 2013
- [15] Portal wykop.pl, <http://www.wykop.pl/wpis/10654944/> [dostęp 26.11.2015]

PS: na zakończenie można przypomnieć, że wszystkie reaktory w Świerku nosiły żeńskie imiona i anegdotycznie wyjaśnić jak niżej: EWA jako pierwsza kobieta i pierwszy reaktor jądrowy w Polsce (ale można też napisać Eksperymentalny-Wodny-Atomowy), ANNA (to imię córki kierownika Zakładu Inżynierii Reaktorowej), MARYLA (to Mały-Reaktor-Laboratoryjny), AGATA (to imię żony kierownika Zakładu Fizyki Reaktorowej), PANNA (to tylko PRĘDKA ANNA), a HELENA (to też imię córki koleżanki z ekipy jugosłowiańskiej).

PRZYPISY

1. podobne reaktory uniwersyteckie powstawały w wielu krajach i można tu przywołać jako przykład reaktor SUR-100 (Siemens Universität/Untersuchung Reaktor) o mocy 0,1 W nie wymagający chłodzenia i zbudowany w Niemczech przy sześciu uniwersytetach (Akwizgran, Berlin, Hanower, Kilonia, Stuttgart i Ulm), a nawet wyeksportowany do Argentyny (jako RA-4).
2. budynek ten został dosyć ciekawie zaprojektowany, gdyż po jednej stronie części biurowej znajdowała się hala zestawu krytycznego, a po drugiej stronie hala do badań technologicznych z dziedziny inżynierii reaktorowej, z takimi urządzeniami jak: pętla sodowa (któż jeszcze te czasy pamięta) i pętla wodna WIW-300, która służyła w końcowej fazie do badania wymiany ciepła w elementach paliwowych stosowanych w reaktorze MARIA.
3. ujemna reaktywność określa, jak daleko znajduje się reaktor od stanu krytycznego, czyli samopodtrzymującej się reakcji rozszczepienia (reaktywność równa zero), a reaktywność dodatnia określa szybkość wzrostu poziomu strumienia neutronów, tj. mocy reaktora.

PROGRAM ERASMUS+ SZANSĄ DLA MŁODYCH NAUKOWCÓW

The Erasmus+ programme the chance for the young scientists

Jacek Boguski, Ewa Zwolińska

Artykuł stanowi sprawozdanie z przebiegu cyklu wykładów zorganizowanych w ramach programu Erasmus+ pt. „Wspólny innowacyjny program szkolenia/nauczania mający na celu rozwój i transfer wiedzy na temat zastosowania promieniowania jonizującego w przetwórstwie materiałów”, który miał miejsce w dniach 7–18 września (Warszawa, IChTJ) oraz 27 września – 3 października (Palermo, UNIPA) 2015 r. Cykl ten obejmował wykłady najlepszych specjalistów z pięciu krajów (Turcja, Włochy, Litwa, Francja oraz Polska) i dotyczył szeroko pojętej tematyki oddziaływania promieniowania jonizującego na materię w takich dziedzinach, jak modyfikacja polimerów czy nanotechnologia. W programie uczestniczyło 39 studentów i doktorantów z sześciu europejskich krajów oraz Turcji. Realizacja niniejszego programu zakończyła się sukcesem. Osiągnięto zakładane cele, z których należy wymienić m.in. zwiększenie poziomu edukacji, poprawę kompetencji słuchaczy, czy wzmocnienie współpracy międzynarodowej.

The article is a report on lecture series organized in the frame of Erasmus+ program entitled “Joint innovative training and teaching/learning program in enhancing development and transfer knowledge of application of ionizing radiation in materials processing”, which took place on the 7–18 September (Warsaw, INCT) and 27 September – 3 October (Palermo, UNIPA) 2015. The lectures were given by the best experts from five countries (Turkey, Italy, Lithuania, France and Poland) in ionizing radiation effects on matter, especially in the field of polymer modification and nanotechnology. The 39 students from the six European countries and Turkey were participated in the program. The Erasmus+ program was a success. The aims achieved like improvement of education level, improvement of student’s competence and intensification of international cooperation were realized.

Słowa kluczowe: Program Erasmus+, promieniowanie jonizujące, radiacyjna modyfikacja polimerów.

Key words: Erasmus+ programme, ionizing radiation, radiation modification of polymers

Pierwotną ideą programu Erasmus było promowanie i umożliwianie wymiany studentów, doktorantów oraz młodych naukowców uczestniczących we wspólnych międzynarodowych projektach pomiędzy jednostkami badawczymi i uczelniami. Program ten swoją nazwą nawiązuje do imienia holenderskiego filozofa epoki renesansu, Erazma z Rotterdamu, a właściwie Gerharda Gerharda (1466–1536), jednego z czołowych humanistów znanego pod przydomkiem „książe humanistów”. Początki programu datują się na 1987 r., zaś Polska przystąpiła do niego w 1998 r. Pomimo, że zakres programu jest obecnie znacznie szerszy, jego idea pozostała ta sama, mianowicie realizuje cele nie tylko edukacyjne, ale również kulturowe poprzez nawiązywanie naukowych kontaktów międzynarodowych i przełamywanie uprzedzeń oraz stereotypów.

W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej, w dniach 7–18 września 2015 r. odbyła się pierwsza część cyklu wykładów w ramach programu Erasmus+ projektu pt. „Wspólny innowacyjny program szkolenia/nauczania mający na celu rozwój i transfer wiedzy na temat zastosowania promieniowania jonizującego w przetwórstwie materiałów” - *Joint innovative training and teaching/learning program in enhancing develop-*

ment and transfer knowledge of application of ionizing radiation in materials processing. W ramach szkolenia wykładów udzieliło pięciu prelegentów z takich krajów, jak: Włochy, Francja Turcja oraz Litwa, których miało możliwość wysłuchać 39 studentów z sześciu krajów: Francji, Litwy, Polski, Rumunii, Turcji oraz Włoch.

Jako pierwsza swój referat wygłosiła prof. Diana Adlienė z wydziału fizyki Uniwersytetu Technicznego w Kownie na Litwie. Profesor zaprezentowała zagadnienia związane z podstawami fizyki promieniowania jonizującego, jego oddziaływania na materię skondensowaną, dozymetrii, jak również z urządzeniami służącymi do jego wytwarzania. Cykl wystąpień prof. Adlienė obejmował dziesięć godzin wykładów podzielonych pomiędzy wyżej przedstawioną tematykę. Poruszone zostały szczegółowo zjawiska promieniotwórczości naturalnej (α , β , γ) oraz sposoby uzyskiwania wiązki przyspieszonych elektronów w urządzeniach akceleratorowych. Przedstawiono również kluczowe informacje na temat oddziaływania promieniowania jonizującego z materią.

Jako drugie zaplanowane zostało wystąpienie prof. Dilek Şolpan z Uniwersytetu Hacettepe w Ankarze, (Turcja). Cykl wystąpień składał się z dwudziestu godzin wykładów.

Omówione zostały takie zagadnienia jak: chemia radiacyjna wody, układów organicznych (zarówno w stanie ciekłym, jak i stałym), metody pomiarów w chemii radiacyjnej, wpływ promieniowania na polimery, metody graftingu polimerów przy użyciu promieniowania, a także wykorzystanie tak zmodyfikowanych polimerów w praktyce. W trakcie szkolenia szczególnie przybliżone zostały zwłaszcza zagadnienia, takie jak zastosowanie z odzysku zasobów uranu zawartych w wodzie morskiej oraz zastosowania ogniów paliwowych.

Pasjonującą tematykę bazującą głównie na chemii radiacyjnej układów polimerowych w fazie ciekłej przedstawiła prof. Clelia Dispenza z Uniwersytetu w Palermo, (Włochy). Cykl dziesięciu godzin wykładów obejmował takie zagadnienia, jak podstawowe aspekty polimeryzacji inicjowanej radiacyjnie, polimeryzacji w roztworze i emulsji oraz zastosowania i metody powstawania hydrożeli. Szczególną uwagę prof. Dispenza zwróciła na zastosowanie hydrożeli w medycynie, przedstawiła również metody syntezy oraz zastosowanie nanocząstek polimerowych, których powstawanie jest inicjowane radiacyjnie.

Kolejnym mówcą również z Uniwersytetu w Palermo, (Włochy) był prof. Giuseppe Spadaro. Wygłosił on wykłady (dziesięć godzin) dotyczące tematyki chemii radiacyjnej polimerów. W toku tych wykładów szczególny nacisk położony był na udział procesów sieciowania i degradacji oksydacyjnej polimerów poddanych działaniu promieniowania jonizującego o różnej mocy dawkowania w atmosferze powietrza. Prof. Spadaro wyjaśnił wpływ tych procesów na właściwości mechaniczne oraz elektryczne badanych polimerów.

Następnym prelegentem była dr Clara Silvestre z Narodowego Centrum Badań w Bolonii, (Włochy). Wystąpienia obejmowały dziesięć godzin wykładów. W referatach wygłoszonych w tej części poruszone były kwestie dotyczące głównie praktycznego zastosowania polimerów syntetyzowanych oraz modyfikowanych przy użyciu promieniowania jonizującego. Tematyka obejmowała także biodegradowalne opakowania do żywności modyfikowane przy użyciu promieniowania jonizującego, uzasadnienie stosowania promieniowania przy sterylizacji żywności oraz „aktywne opakowania” wykorzystujące technologie chemii radiacyjnej i nanocząstek. W bardzo interesujący sposób zostały również przedstawione zagadnienia związane z modyfikacją atmosfery w opakowaniach do żywności, a także zastosowanie do tego celu promieniowania jonizującego. W ramach podsumowania dr Silvestre wygłosiła referat o przyszłych trendach kształtujących się w technologiach związanych z wytwarzaniem opakowań do żywności.

W czasie szkolenia odbyły się również ćwiczenia mające na celu zapoznanie studentów z praktycznymi aspektami zagadnień teoretycznych poznanych na kursie. Przeprowadzone zostały trzy doświadczenia, dzięki którym studenci mieli okazję zaznajomić się z dozymetrią kalorymetryczną stosowaną rutynowo w Stacji Sterylizacji (IChTJ), dozymetrią z wykorzystaniem folii PVC umożliwiającą wyznaczenie rozkładu dawki głębinowej wiązki elektronów z akceleratora oraz ćwiczenie polegające na wykonaniu dozymetrii promieniowania gamma za pomocą alaniny, którą analizowano przy pomocy elektronowego rezonansu paramagnetycznego

(EPR). Doświadczenia zostały poprowadzone przez naszych specjalistów, wśród których należy wymienić nazwiska takich osób, jak dr inż. Andrzej Rafalski, mgr inż. Sylwester Bułka, dr inż. Jarosław Sadło, będących pracownikami Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej.

Pomiędzy 27 września a 3 października 2015 r. miała miejsce druga część cyklu wykładów w ramach programu Erasmus+, która odbyła się na Uniwersytecie w Palermo (UNIPA). W tej części wygłoszone zostały wykłady trzech prelegentów z Polski oraz Francji. Tak samo, jak w czasie pierwszej części szkolenia na wykłady uczęszczało 39 studentów z sześciu krajów.

W części drugiej szkolenia jako pierwsza głos zabrała dr hab. inż. Grażyna Przybytniak, prof. nadzw. IChTJ. Prof. Przybytniak wygłosiła cykl referatów (dziesięć godzin) na temat praktycznego wykorzystania promieniowania jonizującego (gamma, wiązki elektronów) w chemii i technologii tworzyw sztucznych. Omówiono m.in. takie zagadnienia, jak procesy sieciowania radiacyjnego w kontekście zastosowań w przemyśle kablowym, wyrobów termokurczliwych, czy wyrobów biomedycznych. Ponadto przedstawiono informacje na temat zastosowania środków stabilizujących (antyutlenia-cze) w przemysłowych kompozycjach tworzyw sztucznych narażonych na działanie promieniowania jonizującego. Zwrócono również uwagę na perspektywy wykorzystania promieniowania jonizującego w nowych technologiach oraz przedstawiono potencjalne kierunki ich rozwoju.

Prof. Xavier Coqueret z Instytutu Chemii Molekularnej w Reims, (Francja) zaprezentował możliwości wykorzystania promieniowania jonizującego w procesach polimeryzacji oraz utwardzania powierzchni polimerowych. Sporo miejsca poświęcono chemii fizycznej polimerów w kontekście kinetyki polimeryzacji, jak i determinacji mas cząsteczkowych otrzymywanych radiacyjnie polimerów. Oprócz tego przedstawione zostały zagadnienia otrzymywania przy użyciu promieniowania gamma i wiązki wysokoenergetycznych elektronów nanocząstek metali, które znajdują szerokie zastosowanie w takich dziedzinach, jak: kataliza, sensory chemiczne, systemy dostarczania leków czy nanooptyka. Cykl jego wykładów obejmował zakres dziesięciu godzin.

Trzecim wykładowcą na Uniwersytecie w Palermo była dr hab. inż. Krystyna Cieśla prof. nadzw. IChTJ. W czasie cyklu dziesięciu godzin wykładów poruszone zostały takie zagadnienia, jak budowa i właściwości naturalnych polimerów, ze szczególnym uwzględnieniem polisacharydów oraz sposoby ich modyfikacji za pomocą promieniowania jonizującego. Następnie omówione zostało wykorzystanie polisacharydów modyfikowanych radiacyjnie w takich dziedzinach, jak medycyna (hydrożele oraz zamykanie aktywnych składników w mikrokapsułach) oraz opakowania żywności. Na koniec podsumowano obecne możliwości wykorzystania technik radiacyjnych w obróbce naturalnych polimerów i wypunktowano przyszłe trendy i możliwości.

Podobnie jak podczas szkolenia w IChTJ, na Uniwersytecie w Palermo odbyły się ćwiczenia praktyczne. Przedstawione zostały techniki umożliwiające badanie właściwości polimerów: termogravimetria i DSC oraz mikroskop wykorzystujący do obrazowania promieniowanie rentgenowskie X.

23 października br. we wszystkich instytucjach partnerskich, z których pochodzili studenci i prelegenci: Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej (Polska), Uniwersytetu w Palermo (Włochy), Narodowego Centrum Badań w Bolonii (Włochy), Uniwersytetu Hacettepe w Ankarze (Turcja), Uniwersytetu Technicznego w Kownie (Litwa) oraz Instytutu Chemii Makromolekularnej w Iasi (Rumunia), przeprowadzony został egzamin z wiedzy zdobytej na kursie. Za zdany egzamin studenci mogli uzyskać łącznie 9 punktów ECTS (Europejski System Transferu Punktów, 6 punktów za kurs w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej oraz 3 punkty za kurs w Uniwersytecie w Palermo).

Zasadnicze zadania, jakie zostały postawione w trakcie realizacji programu Erasmus+, można przedstawić następująco:

- › zwiększenie poziomu edukacji w dziedzinach chemii i inżynierii materiałowej w sektorze szkolnictwa wyższego poprzez cykl intensywnych wykładów światowej sławy naukowców w każdej z dziedzin,
- › zwiększenie kompetencji studentów na rynku pracy poprzez wizyty i szkolenia w obiektach przemysłowych IChTJ wykorzystujących promieniowanie jonizujące w przetwórstwie materiałów,
- › wzmocnienie współpracy międzynarodowej,
- › poprawę poziomu kształcenia oraz prowadzonych prac badawczych na uniwersytetach/jednostkach badawczych w celu podniesienia ich renomy w świecie poprzez współpracę i rozpowszechnianie wiedzy w Internecie.

Należy stwierdzić, że w ciągu dwóch cykli wykładów, jak i ćwiczeń praktycznych, zakładane cele zostały osiągnięte.



Fot.1. Ćwiczenia praktyczne z dozymetrią wiązki wysokoenergetycznych elektronów w IChTJ

Photo. 1. Practice exercises on dosimetry of elektron beam in INCT



Fot. 2. Ćwiczenia praktyczne z dozymetrii kalorymetrycznej na Stacji Sterylizacji w IChTJ

Photo. 2. Practice exercises on calorimetric dosimetry in the sterilization station in INCT



Fot. 3. Ćwiczenia praktyczne z zastosowania spektroskopii EPR do dozymetrii kobaltowych źródeł gamma

Photo. 3. Practice exercises on EPR spectroscopy applied as a dosimetry of gamma sources in INCT



Fot. 4. Egzamin końcowy w formie testu wielokrotnego wyboru

Photo. 4. The final exam in the form of multiple – choice evaluation test

Uczestnictwo w programie Erasmus+ nie sprowadzało się jedynie do poszerzania wiedzy naukowej. Pobyt uczestników zarówno w Warszawie (2 tygodnie), jak i w Palermo (1 tydzień) stanowił unikalną sposobność do poznania kultury, historii oraz obyczajów panujących w Polsce i we Włoszech. Uczestnicy mieli okazję zwiedzania wielu zabytków, muzeów, czy odbycia w czasie weekendu wizyt w innych miastach, jak np. Krakowie i Gdańsku. Jakkolwiek, ze względu na bardzo napięty program wykładów, organizatorzy (IChTJ, UNIPA) nie przewidzieli czasu na zorganizowane wycieczek, nie stanowiło to problemu, aby uczestnicy w ramach integracji zorganizowali się sami. Ponadto, organizatorzy zapewnili dla każdego z uczestników odpowiedni dobór materiałów promujących, dany kraj/miasto, co w zupełności wystarczyło do poznania miejsca pobytu. Nieocenioną pomocą wykazali się polscy i włoscy uczestnicy, na których wszyscy pozostali mogli polegać odpowiednio w Warszawie i w Palermo.

Dotychczasowa realizacja programu Erasmus+ została dobrze oceniona w czasie wizyty przedstawicieli Fundacji Rozwoju Systemu Edukacji monitorującej postępy wykonywania poszczególnych zadań. Podkreślono unikalny charakter programu łączącego rozproszoną obecnie tematykę w jeden kierunek naukowy związany z zastosowaniem promieniowania jonizującego w przetwarzaniu materiałów, w szczególności w modyfikacji i przetwórstwie polimerów. Stworzenie jednolitej podstawy programowej dla nauczania tych zagadnień w różnych ośrodkach naukowych i uniwersyteckich Europy jest wyzwaniem stojącym przed kadrą naukową zaangażowaną w projekcie. W ramach tych działań powstanie podręcznik dla studentów, w którym uznani eksperci przedstawią w sposób systematyczny podstawową wiedzę na temat zagadnień związanych z chemią radiacyjną i technologią radiacyjną.

Z dużym uznaniem spotkała się również ścisła współpraca między partnerami w zakresie budowania kompetencji w kształceniu studentów, zarówno na poziomie studiów doktorskich, jak i magisterskich.



Fot. 5. Uczestnicy programu Erasmus+ podczas pierwszego cyklu wykładów w Warszawie (IChTJ) (fot. z archiwum autorów)
Photo. 5. Erasmus+ during the first cycle of lectures in Warsaw

Jacek Boguski,
 Ewa Zwolińska,
 Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
 Warszawa

OSZACOWANIE METODAMI EPR, TL i PPSL ODPOWIEDZI PRÓBEK PRZY WYKRYWANIU POTENCJALNEGO NAPROMIENIOWANIA ŻYWNOSCI

Evaluation of detection of potential radiation treatment of foodstuff samples using EPR, TL and PPSL methods.

Grzegorz P. Guzik

VI międzynarodowe porównanie wiarygodności trzech najważniejszych metod analitycznych stosowanych do wykrywania napromieniowanej żywności zorganizowano w 2015 r. pod auspicjami Ministerstwa Zdrowia i Hiszpańskiej Agencji Bezpieczeństwa Żywności i Żywnienia (AESAN) oraz Krajowego Centrum Żywności (CNA). W badaniu zatytułowanym „Międzynarodowe badanie porównawcze metodami TL, PSL i EPR, 6 runda” brało udział dziewiętnaście specjalistycznych laboratoriów z kilku krajów europejskich. CNA jest doświadczonym laboratorium, posiadającym akredytację do wykrywania napromieniowanej żywności metodami termoluminescencji (TL), fotostymulowanej luminescencji (PSL) i spektroskopii elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR). Większość laboratoriów uczestniczących w porównaniu międzylaboratoryjnym posiada również taką akredytację. Asortyment produktów spożywczych dostępnych na rynku jest coraz szerszy, jednak nie wszystkie z nich są testowane pod kątem ich potencjalnego napromieniowania. Jest to istotny argument przemawiający za udziałem wszystkich laboratoriów w porównaniach międzylaboratoryjnych, takich jak obecnie przeprowadzane.

Under the auspices of the Ministry of Health and the Spanish Agency for Food Safety and Nutrition (AESAN) the National Food Centre (CNA) in 2015 has organised the 6th international exercise for testing the reliability of three most important analytical methods used for the detection of irradiated food. The study named "Intercomparative exercise for quality assurance on TL, PSL and EPR Irradiated food detection methods, 6th Round" assembled nineteen specialized laboratories from several European countries. The organizing institution CNA possess accreditation for the detection of irradiated food and is experienced in thermoluminescence (TL), photostimulated luminescence (PSL) and electron paramagnetic resonance spectroscopy (EPR). It is also the case with most of participating laboratories. Presently the spectrum of food products found in the market is significantly extended and many of this products were not tested or validated whether their radiation treatment is detectable. This is a strong argument for the need of the organization of intercomparative studies as the present one.

Słowa kluczowe: porównania międzylaboratoryjne, EPR, TL, PSL

Key words: intercomparative studies, EPR, TL, PSL

Wstęp

Pod patronatem Ministerstwa Zdrowia Hiszpanii i hiszpańskiej Agencji do spraw Bezpieczeństwa Żywności i Odżywiania (AESAN) oraz Narodowego Hiszpańskiego Centrum Żywnościowego (CNA) zorganizowano w 2015 r. VI międzynarodowe porównanie międzylaboratoryjne. Głównym celem tego porównania było testowanie niezawodności trzech najważniejszych metod analitycznych używanych dla wykrywania potencjalnego napromieniowania żywności promieniowaniem jonizującym. Oficjalna nazwa porównania to: „*Intercomparison exercise for quality assurance on TL, PSL and EPR Irradiated Food Detection Methods. 6th Round*”. Była to już kolejna runda porównań metod dedykowanych do wykrywania potencjalnego napromieniowania, w której brały udział zespoły dwudziestu dwóch wyspecjalizowanych laboratoriów z Francji, Niemiec, Polski, Rumunii i Hiszpanii.

Narodowe Hiszpańskie Centrum Żywnościowe (CNA) jest organizacją posiadającą akredytację w zakresie wykry-

wania napromieniowania żywności i ma duże doświadczenie w zakresie elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR), termoluminescencji (TL) oraz pulsacyjnej fotostymulowanej luminescencji (PSL). Zespoły laboratoriów biorących udział w teście międzylaboratoryjnym były zaangażowane w wykrywanie potencjalnego napromieniowania żywności, zarówno dla klientów komercyjnych, jak i wielkich sieci handlowych produkujących żywność.

Podstawowe procedury analityczne używane przez zespoły laboratoriów biorących udział w badaniach porównawczych oparte są na standaryzowanych metodach opracowanych przez CEN (*Committee European de Normalization*) w zakresie wykrywania potencjalnie napromieniowanej żywności jedną z metod fizycznych: EPR, TL lub PSL [1,2,3,4,5]. Wspomniane metody są najbardziej adekwatne do analizy prostych próbek modelowych napromieniowanych dawkami promieniowania jonizującego równymi albo bliskimi dawkami technologicznych polecanych w normatywnych dokumentach [6].

Głównym celem każdego testu międzylaboratoryjnego jest ocena sprawności laboratorium testującego żywność. Ciągłe doskonalenie badań odgrywa istotną rolę w rozwoju programu gwarancji jakości produkowanej żywności. Udział w teście umożliwia ocenę niezawodności metod pomiarowych adresowanych do określonego artykułu żywnościowego. Po zebraniu wyników dostarczonych od przedstawicieli laboratoriów, organizatorzy przeanalizowali i ocenili ich prawidłowość. Zebrane wyniki zostały przedstawione w końcowym protokole. Rezultaty udziału laboratoriów w teście międzylaboratoryjnym były kodowane numerami znanymi odpowiednio każdemu z przedstawicieli laboratoriów.

Organizacja porównań

Laboratorium CNA przygotowało 8 próbek, przy czym część próbek była napromieniowana natomiast pozostałe nie naświetlone. Zestawy próbek były dostarczone do uczestników testu za pośrednictwem poczty, celem dalszej analizy z użyciem jednej z trzech metod wykrywania opartych o termoluminescencję (TL), fotoluminescencję (PPSL) i spektroskopię elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR). Każda próbka posiadała krótki opis i kod.

Każdy komplet próbek zawierał:

- 1 próbkę do badania metodą TL (każda próbka w dwóch powtórzeniach),
- 1 próbkę do badania metodą PPSL (każda próbka w dwóch powtórzeniach),
- 6 próbek do badania metodą EPR (każda próbka w dwóch powtórzeniach) odpowiednio dla wykrywania napromieniowania w produktach zawierających celulozę (dwie próbki przypraw i orzechów), krystaliczne cukry (dwie próbki owoców suszonych) i hydroksyapatyt (dwie próbki skorupki i dwie skorupy mięczaka).

Napromieniowanie próbek przygotowywanych do testu w CNA, Hiszpania

Założone dawki promieniowania w wybranych próbkach testowych laboratorium CNA uzyskało z użyciem dawkomierza ECB. Były one wcześniej kalibrowane w *High Dose Reference Laboratory* działającym w ramach *Risø National Laboratory*, Denmark. Moc dawki promieniowania źródła wynosiła 6,94 kGy/h. Organizator dołączył do materiałów testu trzy świadectwa napromieniowania z marca 2015 r. zawierające informację o celowym napromieniowaniu pięciu próbek jak pokazano w Tabeli 1.

Tabela 1. Żywność poddana napromieniowaniu (marzec 2015 r.) przez CNA

Określenie próbki	Dawka napromieniowania
Cebula	5 kGy
Papryka słodka	1 kGy
Papryka ostra	1 kGy
Rodzynki	1 kGy
Krewetki	2 kGy

Kalibrowane napromieniowanie próbek w IChTJ, Warszawa

W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej próbki analizowane metodami TL oraz PSL były napromieniowane kontrolowaną dawką technologiczną 1 kGy w źródle Co 60. Moc dawki w źródle gamma była kontrolowana dawkomierzem rodanko-

wym (dawkomierz Fricke'go). Tak zmierzona moc dawki wyniosła 4,620 kGy/h dla źródła Gamma Chamber 5000 (fot.1).



Fot. 1. Wygląd zewnętrzny źródła kobaltowego Gamma Chamber 5000
Photo.1. The cobaltic source - Gamma Chamber 5000

Następnie wszystkie próbki (Tabela 2) były testowane z użyciem metod:

- A. Termoluminescencji **TL**: papryka ostra w całości,
- B. Fotoluminescencji **PPSL**: papryka słodka proszek,
- C. Spektroskopii **EPR**: fragmenty pancerzyka krewetki, skorupa małży, skorupa orzecha, suszone owoce rodzynek (dwie próbki) oraz wiórki cebuli.

Tabela 2. Próbkę żywnościowe przygotowane przez organizatora testu do bezpośredniej analizy przez uczestników porównania międzylaboratoryjnego

Numer	Określenie próbki	Dawka napromieniowania
1	Cebula	5 kGy
2	Skorupa orzecha	brak napromieniowania
3	Rodzynka	brak napromieniowania
4	Rodzynka	1 kGy
5	Skorupa małży	brak napromieniowania
6	Pancerzyk krewetki	2 kGy
7	Papryka ostra	1 kGy
8	Papryka słodka cała	1 kGy

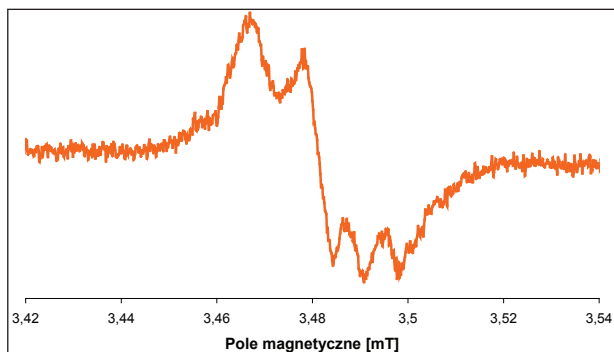
Próbki badane metodą EPR w IChTJ

Próbki testowe były badane w Samodzielnym Laboratorium Identyfikacji Napromieniowania Żywności zgodnie z procedurami stosowanymi w Laboratorium podczas wykrywania potencjalnego napromieniowania zgodnie z Europejskimi Standardami:

- EN - 1786 (skorupa małży i pancerzyk krewetki);
- EN - 1787 (cebula i skorupa orzecha);
- EN - 13708 (rodzynka 3 i rodzynka 4).

Pomiary EPR były przeprowadzone z użyciem aparatu Bruker ESP 300 w paśmie X. Próbki testowe wprowadzono do kapilar cienkościennych firmy Wilmad, USA (kapilara o średnicy wewnętrznej 4 mm, wysokości około 25 mm). Warunki pomiaru EPR zostały ustalone zgodnie z proponowanymi w wy-

mienionych standardach. Próbkę przed napełnieniem rurek były suszone w suszarce ze stałym odprowadzaniem wilgoci w temperaturze nie przekraczającej 40°C przez około dobę. Dla każdego pomiaru EPR stosowano parametry określone szczegółowo w wyżej wymienionych normach. Pojawienie się lub brak charakterystycznego sygnału EPR było porównywane z wymaganiami norm [1,2,3,4]. Przykładowe widmo rodzyнки oznaczonej numerem 4 w Tabeli 2 przedstawia rys. 1.



Rys.1. Próbkę rodzyńki oznaczonej numerem 4 w Tabeli 2 pobranej do badania metodą EPR i zidentyfikowanej jako napromieniowana

Fig.1. Sample of raisin labelled number 4 in Table 2 analysed EPR method (final result: irradiated)

Próbki badane metodą PPSL w IChTJ

Próbki były badane na aparacie PPSL firmy SURRC (Szkocja) zainstalowanym w Laboratorium według procedury opisanej w Europejskim Standardzie EN - 13751. Badany proszek papryki słodkiej był wprowadzony do naczynek Petri'ego o średnicy około 5 cm jak pokazano na fot. 2. Warunki pomiaru PPSL zostały ustalone zgodnie z proponowanymi w wymienionej normie.



Fot. 2. Aparat do badania napromieniowania przypraw roślinnych metodą luminescencji stymulowanej impulsami światła - urządzenie SURRC Irradiated Food Screening System

Photo. 2. The apparatus to the detection of radiation of seasonings with the luminescence stimulated with impulses of the light method - the device SURRC Irradiated Food Screening System

Próbki badane metodą TL w IChTJ

Frakcja mineralna była izolowana z badanej próbki papryki ostrej, ważącej około 20g. Wydzielone minerały ułożono na specjalnych miseczkach ze stali kwasoodpornej. Pomiar przeprowadzono na Czytniku RISØ TL/OSL DA 20 TL zainstalowanym w Laboratorium IChTJ zaprezentowanym na fot. 3. Przyjęto następujące warunki pomiarowe:

- zakres temperatur 50-450°C;
- zakres całkowania 150-250°C;
- wskaźnik szybkości wzrostu temperatury: 6°C/min.



Fot. 3. Urządzenie do identyfikacji napromieniowania artykułów spożywczych metodą termoluminescencji - czytnik RISØ TL/OSL-DA-20

Photo. 3. Device to the identification of radiation of foodstuffs with the thermoluminescence method - reader RISØ TL/OSL-DA-20

Kryteria zastosowane do wykrywania potencjalnego napromieniowania badanych próbek

1. EPR: identyfikacja sygnału EPR specyficznego dla napromieniowanych próbek szczegółowo opisanych w normach [1,2,3,4];
2. PPSL: porównanie wartości otrzymanych podczas pomiaru próbki z dwiema wartościami progowymi T (niższą T1=700 cpm i wyższą T2=5000 cpm). Dopuszczalne jest również obliczenie stosunku intensywności świecenia zarejestrowanego dla próbki surowej wobec próbki napromieniowanej dawką kalibracyjną.
3. TL: identyfikacja maksimów krzywej świecenia dla próbek surowej i ocena stosunku wartości zmierzonych dla krzywej świecenia 1 wobec krzywej świecenia 2 (zintegrowana wartość intensywności świecenia TL) w granicach temperatur 150-250°C. Stosunek ten dla próbki napromieniowanej powinien być większy od 0,1.

Porównanie wyników otrzymanych w laboratorium IChTJ oraz CNA

A. Test na metodę EPR (Tabela 3)

Wszystkie napromieniowane próbki były sklasyfikowane poprawnie z wyjątkiem fragmentu pancerzyka krewetki, która była sklasyfikowana jako nie napromieniowana.

Tabela 3. Zebrane wyniki testów badań metodą EPR

Próbka	Masa próbki [mg]	Wynik testu IChTJ	Wynik testu CNA
Cebula	98,19	pozytywny	pozytywny
Skorupa orzecha	104,81	negatywny	brak napromieniowania
Rodzyńka	107,37	negatywny	brak napromieniowania
Rodzyńka	102,23	pozytywny	pozytywny
Skorupa małży	101,86	negatywny	brak napromieniowania
Pancerzyk krewetki	98,49	negatywny	pozytywny

B. Test na metodę PSL i TL (Tabela 4)

Wszystkie napromieniowane próbki były sklasyfikowane poprawnie.

Tabela 4. Zebrane wyniki testów badanych próbek analizowanych metodą PSL i TL

Próbka	Świecenie A dla próbki surowej	Świecenie B dla próbki napromieniowanej dawką kalibracyjną 1 kGy	Stosunek świeceń A do B	Wynik testu IChTJ	Wynik testu CNA
Papryka ostra	107664	246361	0,437	pozytywny	pozytywny
Papryka słodka cała	8271517	9420144	0,878	pozytywny	pozytywny

Wnioski

Udział w VI porównaniu międzylaboratoryjnym uwiarygodnił niezawodność standardowych metod wykrywania potencjalnego napromieniowania w produktach spożywczych. Napromieniowana próbka papryki ostrej ocenianej metodą PPSL również została oceniona prawidłowo przez wszystkie laboratoria. W odróżnieniu do ubiegłorocznych wyników testu intensywności świecenia A dla próbek surowych papryki było na tyle silne, że interpretacja wyniku początkowego była jednoznaczna. Ocenę próbek papryki jako napromieniowanej potwierdził pomiar kalibracyjny po dopromieniowaniu dawką 1 kGy.

Rozszerzony asortyment artykułów żywnościowych badanych metodą EPR, a nie analizowanych wcześniej był w większości oceniony prawidłowo przez wszystkie laboratoria biorące udział w badaniu.

Próbka skorupy małży była badana metodą EPR opartą o wykrywanie specyficznego asymetrycznego sygnału (współczynniki rozszczepienia żyroskopowego $g_1=2,002$ i $g_2=1,998$) wyznaczonego dla centrów paramagnetycznych w hydroksyapatycie (EN - 1786). Pozytywny wynik analizy dla tej próbki nie wymaga dodatkowych komentarzy. Również obie próbki (cebula i skorupa orzecha) zawierające rodniki celulozowe były prawidłowo ocenione zgodnie z wymaganiami normy EN - 1787. To samo można stwierdzić przy analizie wyników otrzymanych dla dwóch próbek rodzynek. Pojawienie się określonego wieloskładnikowego sygnału w napromieniowanej próbce (zob. rys. 1) oraz jego brak w nie napromieniowanej próbce (EN - 13708) skłaniają do stwierdzenia, że metoda EPR jest dla owoców zawierających krystaliczne cukry całkowicie niezawodna.

Problemem prawie połowy laboratoriów biorących udział w teście międzylaboratoryjnym była właściwa ocena napromieniowania próbki pancerzyka krewetki. Niewątpliwą przyczyną była trudność w zakwalifikowaniu próbki do oceny właściwą metodą badawczą. Singlet ze współczynnikiem rozszczepienia żyroskopowego $g=2,004$ nie był charakterystyczny ani dla próbek zawierających hydroksyapatyt (EN - 1786) ani dla próbek zawierających rodnik celulozowy (EN - 1787). Przy niższych i wyższych wartościach pola magnetycznego nie znalazłem jakichkolwiek śladów linii satelitarnych oczekiwanych w napromieniowanej próbce zawierającej rodnik celulozowy. Również intensywność zidentyfikowanego singletu nieznacznie przekraczała intensywność szumów sygnału EPR. Dlatego próbka pancerzyka krewetki została zakwalifikowana jako nie napromieniowana, chociaż

zgodnie z deklaracją organizatora testu była napromieniowana (zob. Tabela 1). W opinii autora tekstu powód leży również w niskiej stabilności sygnału krewetki w czasie. Próbki analizowane podczas testu międzynarodowego były napromieniowane w marcu, podczas gdy ich dostarczenie i badanie odbyło się w maju 2015 r. Na podstawie wcześniejszych pomiarów przeprowadzonych przez zespół p. doktora Wacława Stachowicza [7], dla niektórych próbek sygnał EPR zanika całkowicie już po 3 miesiącach magazynowania. Dlatego lepiej jest badać potencjalne napromieniowanie krewetek metodą TL lub ostatecznie PPSL, niż metodą EPR. Drobiny minerałów występujące obficie w ich przewodach pokarmowych są łatwe do wydzielenia i dają zawsze wiarygodne wyniki potencjalnego napromieniowania.

Obecnie, głównie z powodów ekonomicznych producenci żywności i sprzedawcy stosują dawki zmniejszone w porównaniu z zalecanymi dawkami technologicznymi, jedynie do minimalnego poziomu, który jeszcze zapewnia skutek konserwacji i bezpieczeństwo mikrobiologiczne żywności. Takie "optymalne" dawki z technologicznego punktu widzenia, prawdopodobnie będą niebawem stosowane na całym świecie i będą dużo niższe niż te zalecane w Kodeksie [6]. Z każdym rokiem asortyment artykułów żywnościowych występujących na rynku ulega znacznemu rozszerzeniu i wiele z tych produktów nie było jeszcze przetestowanych, czy ich napromieniowanie możliwe jest do jednoznacznego wykrycia. To silny argument przemawiający za potrzebą organizacji tak zwanych *professional tests /interlaboratory comparison -PT/ ILC* (międzylaboratoryjnych testów), jak bieżące porównanie.

Obecnie to już VI międzylaboratoryjne porównanie zorganizowane przez specjalistów z Hiszpanii z udziałem kilku europejskich krajów. Każdy z wcześniejszych pięciu testów dotyczył próbek różnego rodzaju i asortymentu. Jednak każdy kolejny test stanowił pewne uzupełnienie już poprzednio przeprowadzonych analiz.

mgr Grzegorz P. Guzik,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Samodzielne Laboratorium Identyfikacji
Napromieniowania Żywności,
Warszawa

Literatura

1. PN-EN 13708:2003: Foodstuffs - Detection of irradiated food containing crystalline sugar by ESR spectroscopy. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels;
2. PN-EN 1788:2001: Foodstuffs - Thermoluminescence detection of irradiated food from which silicate minerals can be isolated. European Committee for Standardisation, Brussels;
3. PN-EN 13751:2009: Foodstuffs - Detection of irradiated food using photo stimulated luminescence. European Committee for Standardisation, Brussels;
4. PN-EN 1786:2000: Foodstuffs - Detection of irradiated food containing bone - Method by ESR spectroscopy. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels;
5. PN-EN 1787:2001: Foodstuffs - Detection of irradiated food containing cellulose by ESR spectroscopy. European Committee for Standardisation (CEN), Brussels;
6. General Standard for Irradiated Foods: Codex Alimentarius: Codex Stan 106-1983 Rev.1-2003; IAEA WHO; Geneva 1981;
7. K. Lehner, W. Stachowicz, 2003, IChTJ Raport Seria B, nr 4/2003, 14 stron.

BUDUJEMY DOM... - OCENA PROMIENIOTWÓRCZOŚCI NATURALNEJ WYBRANYCH SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANÝCH

We are building a house... evaluation of natural radioactivity of the selected raw and building materials

Barbara PIOTROWSKA, Krzysztof ISAJENKO, Marian FUJAK,
Joanna SZYMCZYK, Maria KRAJEWSKA

W Polsce systematyczne badania promieniotwórczości naturalnej w surowcach i materiałach budowlanych prowadzone są od 1980 r. W oparciu o wyniki badań prowadzonych przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) i ponad 30 innych laboratoriów w naszym kraju powstała ogólnopolska baza danych z wynikami promieniotwórczości naturalnej. Baza ta jest nadzorowana przez CLOR i zawiera wyniki badań dla ponad 42 000 analizowanych próbek od 1980 r. do chwili obecnej. W artykule przedstawiono wyniki badań radioaktywności wybranych surowców i materiałów budowlanych, oceniono możliwość zastosowania ich w budownictwie mieszkaniowym oraz oceniono narażenie osób na promieniowanie jonizujące wynikające z zastosowania tych materiałów w budownictwie mieszkaniowym.

The systematic research of the natural radioactivity of raw and building materials has been performed in Poland since 1980. Based on the results of these studies, carried out both by the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) and more than 30 other research laboratories in our country, the national database of measurements of natural radioactivity has been set up. The database is supervised by the CLOR and contains the results of the measurements for more than 42 000 analysed samples since 1980 up to now. In this paper shows results of studies natural radioactivity of the selected raw and building materials, estimated possibility used them in housing and estimated exposure of people on ionization radiation resulting from use these materials in housing.

Słowa kluczowe: materiały budowlane, promieniotwórczość naturalna, ^{40}K , ^{226}Ra i ^{228}Th

Key words: building materials, natural radioactivity, ^{40}K , ^{226}Ra and ^{228}Th

WSTĘP

Promieniowanie jonizujące jest naturalnym zjawiskiem, występującym w przyrodzie i towarzyszy gatunkowi ludzkiemu od początku jego istnienia. Naturalne izotopy promieniotwórcze znajdują się w naszym środowisku i oddziałują na nasze organizmy.

Jednym ze źródeł promieniowania naturalnego są radionuklidy w skorupie ziemskiej, które przetrwały tam od czasu powstania planety, a także izotopy, będące produktami ich rozpadów np. ^{40}K , ^{236}Ra oraz ^{228}Th . Występują one w skałach i minerałach, które używamy w budownictwie. W przypadku zbyt dużego stężenia aktywności tych izotopów w zastosowanych wyrobach budowlanych może to stanowić niepożądane źródło zwiększenia mocy dawki promieniowania jonizującego w pomieszczeniach ponad jej normalny poziom.

Na podstawie wyników badań radioaktywności naturalnej surowców i materiałów budowlanych, prowadzonych przez Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej i po-

nad 30 innych placówek pomiarowo-badawczych w naszym kraju, stworzono ogólnopolską bazę danych wyników tych pomiarów. Zawiera ona rezultaty badań prowadzonych od 1980 r. do chwili obecnej.

PRZEPISY PRAWNE

Metodyka badań surowców i materiałów budowlanych została dokładnie opisana w Poradniku 455/2010 Instytutu Techniki Budowlanej pt. „Badania promieniotwórczości naturalnej surowców i materiałów budowlanych”.

Przedmiotem tego poradnika są procedury związane z ochroną przed promieniowaniem jonizującym, którego źródłem mogą być naturalne pierwiastki promieniotwórcze występujące w surowcach i w odpadach przemysłowych pochodzenia mineralnego, stosowanych do produkcji materiałów i wyrobów budowlanych. Ponadto, poradnik przedstawia: asortyment kontrolowanych surowców naturalnych i odpadów przemysłowych pochodzenia mineralnego, wykorzysta-

wanych w budownictwie oraz oferowanych materiałów i wyrobów budowlanych, podlegającym badaniom kontrolnym, podstawowe wymagania, metody badania stężeń zawartych w nich naturalnych pierwiastków promieniotwórczych, oraz zasady interpretacji wyników badań i oceny ich zgodności z ustalonymi wymaganiami.

Podstawowym aktem prawnym określającym wymagania stawiane surowcom i materiałom budowlanym stosowanym w różnych rodzajach budownictwa jest Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 2 stycznia 2007 roku w sprawie wymagań dotyczących zawartości naturalnych izotopów promieniotwórczych potasu K-40, radu Ra-226 i toru Th-228 w surowcach i materiałach stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi i inwentarza żywego, a także w odpadach przemysłowych stosowanych w budownictwie oraz kontroli zawartości tych izotopów (Dz.U. nr 4/2007 poz. 29).

Rozporządzenie to klasyfikuje możliwość zastosowania różnych surowców i materiałów budowlanych w różnych typach budownictwa poprzez określenie dwóch parametrów:

1.) Wskaźnika aktywności f_1 , określającego zawartość naturalnych izotopów promieniotwórczych (jest to wskaźnik narażenia całego ciała na promieniowanie gamma), zdefiniowanego za pomocą wzoru:

$$f_1 = \frac{S_K}{3000} + \frac{S_{Ra}}{300} + \frac{S_{Th}}{200}$$

gdzie: S_K , S_{Ra} , S_{Th} - oznaczają odpowiednio stężenie promieniotwórcze izotopów potasu K-40, radu Ra-226 oraz toru Th-228 wyrażone w [Bq/kg].

2.) Wskaźnika aktywności f_2 , który określa zawartość radu Ra-226 (jest to wskaźnik narażenia nabłonka płuc na promieniowanie alfa emitowane przez produkty rozpadu radonu pobrane wraz z powietrzem przez układ oddechowy człowieka):

$$f_2 = S_{Ra}$$

W zależności od wartości tych dwóch wskaźników, badany materiał może być stosowany w różnych typach budownictwa. I tak, wartości wskaźników f_1 oraz f_2 nie mogą przekraczać o więcej niż 20% wartości:

1.) $f_1=1$ i $f_2=200$ [Bq/kg] w odniesieniu do surowców i materiałów budowlanych stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi lub inwentarza żywego;

2.) $f_1=2$ i $f_2=400$ [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w obiektach budowlanych naziemnych wznoszonych na terenach zabudowanych lub prze-

znaczonych do zabudowy w miejscowym planie zagospodarowania przestrzennego oraz do niwelacji takich terenów;

3.) $f_1=3,5$ i $f_2=1000$ [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach naziemnych obiektów budowlanych niewymienionych w punkcie 2 oraz do niwelacji terenów niewymienionych w punkcie 2;

4.) $f_1=7$ i $f_2=2000$ [Bq/kg] w odniesieniu do odpadów przemysłowych stosowanych w częściach podziemnych obiektów budowlanych, o których mowa w punkcie 3, oraz w budowach podziemnych, w tym w tunelach kolejowych i drogowych, z wyłączeniem odpadów przemysłowych wykorzystywanych w podziemnych wyrobiskach górniczych.

Dodatkowo przy stosowaniu odpadów przemysłowych do niwelacji terenów, o których mowa w punktach 2 i 3, oraz do budowy dróg, obiektów sportowych i rekreacyjnych zapewnia się, przy zachowaniu wymaganych wartości wskaźników f_1 i f_2 , obniżenie mocy dawki pochłoniętej na wysokości 1 m nad powierzchnią terenu, drogi lub obiektu do wartości nieprzekraczającej 0,3 $\mu\text{Gy/h}$, w szczególności przez położenie dodatkowej warstwy innego materiału.

W niniejszym opracowaniu przeprowadzono analizę możliwości wykorzystania surowców i materiałów budowlanych w budownictwie.

WYNIKI BADAŃ RADIOAKTYWNOŚCI NATURALNEJ SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W LATACH 1980-2013

Wyroby budowlane można podzielić ze względu na sposób ich otrzymywania. Wyróżniamy zatem materiały budowlane pochodzenia naturalnego, np. kamień, piasek oraz pochodzenia przemysłowego, np. cement, beton, cegły, wapno. Również wiele odpadów znalazło zastosowanie w produkcji materiałów budowlanych. Popioły i żużle są stosowane do wykonywania podbudowy dróg i ulic, ale również przy produkcji niektórych cementów czy materiałów ściennych.

W popiołach lotnych i żużlach powstałych w wyniku spalania węgla w elektrowniach następuje kilkakrotne zagęszczenie zawartości radionuklidów, przy czym jego stopień zależny jest od jakości spalanego węgla, sprawności spalania, rodzaju kotłowni i wielu innych czynników.

Wszystkie materiały budowlane pochodzenia mineralnego zawierają naturalne pierwiastki promieniotwórcze, z których największe znaczenie mają ^{40}K , pierwiastki szeregu uranowo-radowego, w tym ^{226}Ra oraz szeregu torowego (^{228}Th). W Tabeli 1 przedstawiono zestawienie stężeń tych radionuklidów w różnych materiałach budowlanych.

Tabela 1. Stężenia naturalnych izotopów promieniotwórczych: potasu ^{40}K , radu ^{226}Ra i toru ^{228}Th w wybranych surowcach i materiałach budowlanych w latach 1980–2013

Table 1. Concentrations of natural radioactive isotopes: potassium ^{40}K , radium ^{226}Ra and thorium ^{228}Th in selected raw and building materials in period 1980-2013

Rodzaj materiału lub surowca budowlanego	Liczba próbek	Stężenie [Bq/kg]					
		^{40}K		^{226}Ra		^{228}Th	
		Średnie	Zakres (min - max)	Średnie	Zakres (min - max)	Średnie	Zakres (min - max)
piasek	158	288,05	0 - 875	23,19	0 - 115,6	19,52	0 - 88,2
żwir	35	552,06	324 - 719,2	23,02	13 - 33	20,18	15 - 43,2
marmur	20	119,41	0 - 1907,3	9,64	0 - 60,3	6,26	0 - 99,9
wapno palone	28	38,16	1 - 118,6	27,89	10 - 204,3	8,65	0 - 85,7

Cd. Tabeli 1

gips	252	44,73	0 - 174	142,95	0 - 641,6	3,92	0 - 44,8
granit	48	1162,49	154 - 1752,6	66,38	4,5 - 251	84,25	1,7 - 382
beton	2956	417,88	48 - 1015	58,87	1,5 - 355,6	45,11	3 - 383,9
cegła	2731	546,41	66 - 1330	35,60	0,1 - 127,8	31,75	0 - 130
cement	1560	405,52	6 - 7149,2	44,91	0 - 119	26,03	6,6 - 78,3
dachówka	49	517,37	332 - 887	42,59	26 - 60	43,47	31 - 57
klinkier	89	185,88	17 - 482	29,54	8,7 - 60,2	17,26	0,5 - 38,3
pustak betonowy	435	458,72	167 - 959	64,44	11 - 656	48,37	10 - 94,9
ceramika	4649	684,41	55 - 1368	51,12	1 - 214	49,25	0 - 142,4
spoiwo cementowe	4	299,03	89 - 430	83,75	31,8 - 181,9	51,23	10,2 - 93,2
popioły	5082	720,93	0 - 8774,7	99,10	0 - 1378	77,23	0 - 194
żuźle	4967	452,63	0 - 4122	119,35	4 - 482	52,81	0,1 - 188
razem	23063	430,85	0 - 8774,7	57,65	0 - 1378	36,58	0 - 383,9

Największe średnie stężenie ^{40}K zanotowano dla materiałów takich jak: granit, popioły, materiały ceramiczne, cegły oraz żwir. Wśród materiałów o najwyższej zawartości izotopu ^{226}Ra można wymienić gips, a także popioły i żuźel. Natomiast największe stężenie ^{232}Th występuje w granicie, popiołach oraz żuźlach.

Najmniejsze średnie stężenie ^{40}K występuje w wapnie palonym. Najniższą zawartość ^{226}Ra obserwujemy w marmurze. Natomiast jeśli chodzi o stężenie ^{232}Th najmniejsze wartości zanotowano dla gipsu, marmuru i wapna palonego.

MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA WYBRANYCH SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM

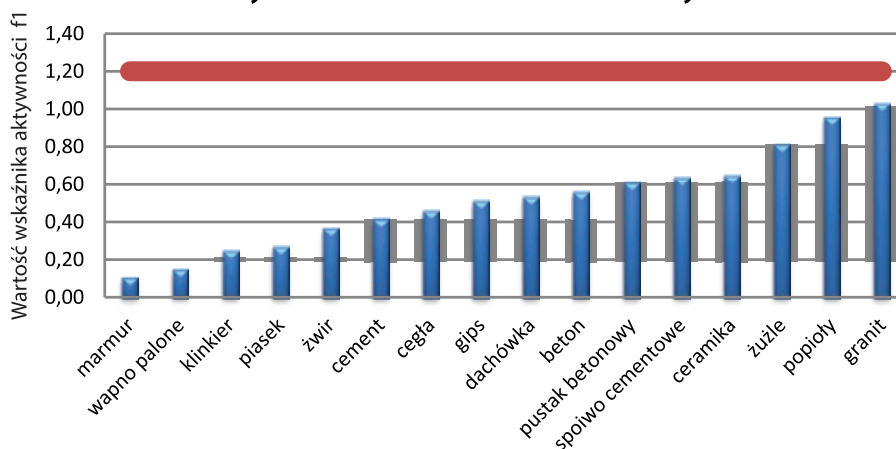
Ludzie spędzają w budynkach większą część swojego życia (około 80%), dlatego regulacja prawna dotycząca para-

metrów przydatności surowców i materiałów budowlanych przeznaczonych dla budownictwa mieszkaniowego pod względem radiologicznym jest w pełni uzasadniona. Do oceny przydatności badanych materiałów korzysta się z obliczanych wskaźników aktywności f_1 i f_2 .

Na podstawie badań radioaktywności naturalnej surowców i materiałów budowlanych przeprowadzonych w latach 1980-2013, na rys. 1 przedstawiono średnie wartości współczynnika f_1 dla różnych surowców i materiałów budowlanych wraz z oznaczeniem za pomocą czerwonej linii dopuszczalnej maksymalnej wartości tego współczynnika dla materiałów stosowanych w budynkach przeznaczonych na pobyt ludzi.

Jak można zauważyć na rys. 1 wszystkie omawiane materiały i surowce budowlane można wykorzystać w budownictwie mieszkaniowym. Najniższe wskaźniki aktywności otrzymano dla marmuru, wapna palonego, klinkieru i piasku. Natomiast najwyższe dla żużli, popiołów i granitu.

Wartość współczynnika aktywności f_1 dla różnych materiałów budowlanych

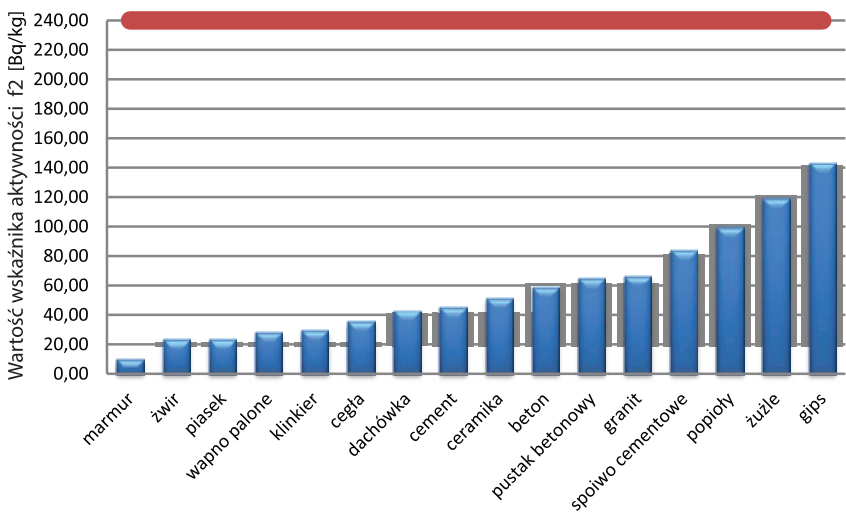


Rys. 1. Wartości wskaźnika aktywności f_1 dla wybranych surowców i materiałów budowlanych, które mogą być zastosowane w budownictwie mieszkaniowym – wskaźniki aktywności nieprzekraczające wartości $f_1 < 1,2$

Fig. 1. Value of activity index f_1 for selected raw and building materials, which can be used in housing – activity index below value $f_1 < 1,2$

Na kolejnym rysunku przedstawiono podobną klasyfikację. Tym razem surowce i materiały budowlane uszeregowano według wzrastającego wskaźnika aktywności f_2 , który określa zawartość izotopu ^{226}Ra .

Stężenie izotopu Ra-226 w wybranych materiałach budowlanych



Rys. 2. Wartości wskaźnika aktywności f_2 dla wybranych surowców i materiałów budowlanych, które mogą być zastosowane w budownictwie mieszkaniowym – wskaźniki aktywności nieprzekraczające wartości $f_2 < 240 \text{ Bq/kg}$
Fig. 2. Value of activity index f_2 for selected raw and building materials, which can be used in housing – activity index below value $f_2 < 240 \text{ Bq/kg}$.

Z rys. 2. możemy odczytać, że podobnie żaden z materiałów nie przekracza maksymalnej dopuszczalnej wartości tj. 240 Bq/kg. Najniższymi wskaźnikami aktywności charakteryzują się: marmur, żwir, piasek, wapno palone, klinkier i cegła. Natomiast najwyższe zarejestrowano dla popiołów, żużli i gipsu.

Tabela 2. Wartości wskaźnika aktywności f_1 dla wybranych surowców i materiałów budowlanych w latach 1980-2013
Table 2. Value of activity index f_1 for selected raw and building materials in period 1980-2013

Rodzaj materiału lub surowca budowlanego	Liczba próbek	F1	
		Średnia	Zakres (min - max)
piasek	158	0,27	0,01 - 1,09
żwir	35	0,36	0,25 - 0,55
marmur	20	0,10	0,01 - 1,32
wapno palone	28	0,15	0,04 - 1,15
gips	252	0,51	0 - 2,21
granit	48	1,03	0,10 - 3,02
beton	2956	0,56	0,07 - 3,13
cegła	2731	0,46	0,05 - 1,17
cement	1560	0,42	0,08 - 2,52
dachówka	49	0,53	0,39 - 0,69
klinkier	89	0,25	0,09 - 0,44
pustak betonowy	435	0,61	0,15 - 2,52
ceramika	4649	0,64	0,08 - 1,74
spoiwo cementowe	4	0,64	0,19 - 1,20
popioły	5082	0,96	0 - 5,29
żużle	4967	0,81	0,04 - 2,53
razem	23063	0,52	0 - 5,29

W Tabeli 2 przedstawiono zarówno średnie wartości wskaźnika f_1 jak i całe zakresy osiąganych wartości dla poszczególnych materiałów budowlanych. Możemy zaobserwować, że w niektórych przypadkach maksymalne wartości są większe niż dopuszczalna norma, tzn. $f_1 = 1,2$. Są to jednak nieliczne przypadki, zazwyczaj wartości te zanotowano jedynie dla pojedynczych próbek, np. marmuru, gipsu, betonu, czy pustaków betonowych. Największy procent przekroczeń wskaźnika f_1 zarejestrowano dla granitu. Wynosi on 27%. Na drugim miejscu plasują się popioły, gdzie próbki, dla których wartość wskaźnika f_1 jest większa niż 1,2 stanowią 12% wszystkich zbadanych próbek.

Tabela 3. Moc dawki dla wybranych surowców i materiałów budowlanych w latach 1980–2013
Table 3. Dose rate for selected raw and building materials in period 1980-2013

Rodzaj materiału lub surowca budowlanego	Liczba próbek	Roczna dawka efektywna [mSv/rok]	
		Zakres (min - max)	Średnia
piasek	158	0 - 0,86	0,21
żwir	35	0,17 - 0,43	0,28
marmur	20	0,01 - 1,26	0,10
wapno palone	28	0 - 1,02	0,08
gips	252	0 - 1,67	0,39
granit	48	0,06 - 2,56	0,79
beton	2956	0,05 - 2,41	0,42
cegła	2731	0,04 - 0,90	0,35
cement	1560	0,06 - 1,92	0,32
dachówka	49	0,30 - 0,52	0,41
klinkier	89	0,07 - 0,34	0,19
pustak betonowy	435	0,11 - 2,27	0,47
ceramika	4649	0,06 - 1,33	0,49
spoiwo cementowe	4	0,14 - 0,93	0,49
popioły	5082	0 - 4,01	0,70
żuźle	4967	0,03 - 1,93	0,62
razem	23063	0 - 4,01	0,39

Na podstawie otrzymanych wyników można powiedzieć, że najmniejsza średnia dawka promieniowania występuje dla wapna palonego, marmuru oraz klinkieru. Natomiast najwyższe dawki obserwuje się dla granitu, żużli oraz popiołów.

PODSUMOWANIE

Z punktu widzenia ochrony radiologicznej prowadzenie kontroli surowców i materiałów budowlanych zapewnia ludziom stosowanie bezpiecznych materiałów. Kontrola jest potrzebna, gdyż zdarzają się przypadki przekroczenia obowiązujących norm, zwłaszcza w przypadku surowców odpadowych. Wtedy bez szkody dla mieszkańców można je mimo wszystko wykorzystać, ale np. w budownictwie drogowym, a nie mieszkaniowym. Na podstawie omówionych wcześniej wyników można powiedzieć, że ogólnie najniższą promieniotwórczością charakteryzują się materiały takie jak piasek, żwir, marmur, wapno palone, klinkier oraz cegły. Prawie nie obserwuje się dla nich przekroczenia wartości wskaźników f_1 i f_2 . Odpowiadają im także najniższe dawki promieniowania.

OCENA NARAŻENIA OSÓB WYNIKAJĄCA Z ZASTOSOWANIA SUROWCÓW I MATERIAŁÓW BUDOWLANYCH W BUDOWNICTWIE MIESZKANIOWYM

Poza analizą wskaźników aktywności f_1 i f_2 w celu oceny przydatności materiałów bardzo ważne jest również określenie rocznej dawki efektywnej otrzymanej przez człowieka od danego materiału. W obliczeniach skorzystano ze wzoru:

$$D = 0,000316 S_K + 0,00316 S_{Ra} + 0,0486 S_{Th},$$
gdzie S_K, S_{Ra}, S_{Th} to odpowiednio stężenia $^{40}K, ^{226}Ra$ i ^{232}Th w Bq/kg.

Uwzględniono, że człowiek spędza w pomieszczeniach średnio 80% czasu życia, czyli około 7000 godzin. Wyniki obliczeń przedstawiono w Tabeli 3.

Natomiast najwyższe stężenia izotopów promieniotwórczych i zarazem najwyższe dawki efektywne zarejestrowano dla granitu, a także żużli i popiołów. Jest to zgodne z intuicją, ponieważ żuźel i popioły to surowce odpadowe, powstałe w wyniku spalania węgla i następuje w nich zagęszczenie izotopów promieniotwórczych.

mgr Barbara PIOTROWSKA,
mgr inż. Krzysztof ISAJENKO,
mgr inż. Marian FUJAK,
Zakład Dozymetrii,
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej,
Warszawa
Joanna SZYMCZYK,
Maria KRAJEWSKA,
Uniwersytet Warszawski,
Wydział Chemii,
Warszawa

BYŁEM W CZARNOBYLU, BYŁEM W FUKUSZIMIE, BYŁEM W HIROSZIMIE...

I have visited Chernobyl, Fukushima and Hiroshima...

Krzysztof Wojciech Fornalski

Niniejszy artykuł jest pisaną prostym językiem popularnonaukową relacją z wyjazdu autora do Czarnobyla (2008 r.), Fukuszymy (2014 r.) i Hiroszimy (2014 r.).

The presented article is a popular-science report of the author's visit in Chernobyl (2008), Fukushima (2014) and Hiroshima (2014).

Słowa kluczowe: Czarnobyl, Fukuszima, Hiroszima

Key words: Chernobyl, Fukushima, Hiroshima

Wstęp

Kiedy dyskutuje się o problematyce dotyczącej energii jądrowej, lub nawet szerzej – dotyczącej promieniowania jonizującego, prędzej czy później w dyskusji pojawiają się miejsca-symboly, jakimi niewątpliwie są Czarnobyl, Fukuszima i Hiroszima¹. Wydarzenia, które miały tam miejsce, bez wątpienia zmieniły ich historię i zapisały się w ludzkiej świadomości.

Nie chciałbym w tym miejscu rozpisywać się na temat przyczyn, okoliczności czy konsekwencji tych wszystkich zdarzeń, które miały miejsce w Czarnobylu, Fukuszymie i Hiroszynie. Chciałem się skupić raczej na prostej popularnonaukowej relacji z wizyty we wszystkich tych miejscach, które w ostatnich latach miałem okazję odwiedzić. Relacji z licznikiem Geigera w ręce, co pozwoliło obalić niejedną mit związany z promieniowaniem jonizującym.



Fot. 1. Czarnobylska Elektrownia Jądrowa (2008 r.), pierwszy z prawej to sarkofag reaktora nr IV
Photo 1. Chernobyl NPP (2008), first on the right: the sarcophagus of reactor no.4

Byłem w Czarnobylu...

Swoją przygodę z tzw. turystyką atomową, choć brzmi to dość eufemistycznie, rozpocząłem w kwietniu 2008 r. od wyjazdu do Czarnobyla². Chociaż wiele napisano na temat samej elektrowni jądrowej, jak i przyczyny jej awarii w 1986 r, to perspektywa zobaczenia tego miejsca na własne oczy była bardzo silna.

Czarnobylska Elektrownia Jądrowa bazująca na sowieckiej technologii reaktorów RBMK, położona jest dzisiaj w podwójnej strefie bezpieczeństwa. Pierwsza strefa, o średnicy ok. 10 km, jest całkowicie wysiedlona, a dostęp do niej jest bardzo ograniczony. Druga strefa, o kształcie nieregularnym, posiada średnicę ok. 30 km i jest częściowo zamieszkała. Z tej właśnie przyczyny nocleg w okolicy samej elektrowni jądrowej

nie był możliwy, wobec czego zostaliśmy zakwaterowani w pobliskim mieście Sławutycz, które zostało zbudowane dla ludzi wysiedlonych ze strefy.

Ze Sławutycza do samej elektrowni dojeżdża się pociągiem, który częściowo biegnie eksterytorialnie przez Białoruś. To, co na pierwszy rzut oka ukazuje się podróżnym, to bujna przyroda, która od ponad ćwierćwiecza funkcjonuje wolna od ludzkiej ingerencji. Dzięki stada zwierząt, lasy i szuwały robią olbrzymie wrażenie na przekór utartej opinii o tym, że okolice elektrowni jądrowej przypominają krajobraz księżycowy.

Kilka kilometrów przed dotarciem do celu moim oczom ukazała się słynna Czarnobylska Elektrownia Jądrowa i ustawione w jednym rzędzie cztery bloki RBMK oraz chłodnie kominowe dwóch kolejnych, nigdy nieukończonych bloków. Na samym końcu

cu ukazuje się sarkofag kryjący blok nr IV - świadka największej tragedii w historii światowej energetyki jądrowej. Szybki rzut okiem na licznik Geigera rozwiał wątpliwości: poziom promieniowania gamma (moc dawki promieniowania gamma) równy był naturalnemu tłu promieniowania, które wynosi około $0,15-0,2 \mu\text{Sv/h}$ (mikrosiwertów na godzinę³), czyli tyle, co w Warszawie.



Fot.2. Przed sarkofagiem reaktora nr IV w Czarnobylu – moc dawki ok. $5-6 \mu\text{Sv/h}$

Photo 2. In front of the 4th reactor's sarcophagus in Chernobyl – dose rate level approx. $5-6 \mu\text{Sv/h}$

Po dotarciu kolejną na teren Czarnobylskiej Elektrowni Jądrowej łatwo można było zauważyć, iż moc dawki wynosiła dokładnie tyle samo, co w pociągu, w Sławutyczu, czy we wspomnianej już Warszawie. Po opuszczeniu dworca kolejowego wsiedliśmy do lokalnego autobusu, pamiętającego jeszcze czasy świetności elektrowni, który zawiózł nas pod sam sarkofag IV reaktora i mieszczące się tuż obok centrum informacyjne. Licznik Geigera wskazywał około $5-6 \mu\text{Sv/h}$, czyli już znacząco więcej niż naturalne tło promieniowania.

Warto uzmysłowić sobie, że dawka otrzymana w wyniku jednego prześwietlenia rentgenowskiego klatki piersiowej jest równa dawce otrzymanej przez osobę stojącą przy płocie czarnobylskiej elektrowni przez ok. 150 godzin. Poinformowano nas, że za płotem moc dawki wzrasta do $8 \mu\text{Sv/h}$, a przy samym sarkofagu do $20 \mu\text{Sv/h}$. Naturalne tło promieniowania w takich miastach jak Ramsar w Iranie czy Guarapari w Brazylii nierzadko dochodzi nawet do $100 \mu\text{Sv/h}$ – i to z całkowicie naturalnych, geologicznych przyczyn. Dla porównania przypomnę, iż w Warszawie moc dawki wynosi około $0,15-0,2 \mu\text{Sv/h}$.



Fot.3. Nieistniejąca wieś Kopacz i „składowisko odpadów promieniotwórczych” – moc dawki ok. $0,25 \mu\text{Sv/h}$

Photo 3. The former village Kopatchi and the „radioactive waste repository” – dose rate approx. $0.25 \mu\text{Sv/h}$

Warto dodać, że elektrownia jądrowa w Czarnobylu pracowała jeszcze długo po awarii, a zamknięta została ostatecznie z końcem 2000 r., głównie pod naciskiem USA i UE. Obecnie nigdzie poza rejonem tzw. czerwonego lasu⁴ nie zarejestrowałem mocy dawki przekraczającej wskazania spod sarkofagu IV reaktora. Na skraju wspomnianego lasu moc dawki doszła do ok. $25 \mu\text{Sv/h}$.

Zatrzymaliśmy się również w nieistniejącej już wsi Kopacz, gdzie według naszego lokalnego przewodnika (który niegdyś pracował w słynnym IV reaktorze) znajdowało się składowisko odpadów promieniotwórczych. Istotnie, cały teren pokryty był niewielkimi pagórkami na szczycie których umieszczone były przedziewiały, charakterystyczne żółte znaki z czerwoną „koniczynką” ostrzegające przed promieniowaniem. Jednak nasze liczniki Geigera nie wskazały nic ponad naturalne tło promieniowania, a na szczycie pierwszego pagórka zmierzaliśmy raptem $0,12 \mu\text{Sv/h}$.

Kolejnego dnia naszym głównym celem podróży było miasto-widmo Prypeć. Miasto to, przed awarią ok. 50-tysięczne, było zamieszkane przede wszystkim przez pracowników elektrowni jądrowej oraz ich rodziny. Zlokalizowane jest ok. 3 km od siłowni i stanowi główny przykład wielkiej ludzkiej tragedii, jaką niesie ze sobą trwała i nagła ewakuacja wszystkich mieszkańców. Na głównym placu w Prypeci moc dawki oscyluje w okolicach $1 \mu\text{Sv/h}$, lecz w wielu miejscach (np. szpital, dom kultury, mieszkania prywatne) niczym nie różni się od naturalnego tła promieniowania mierzonego chociażby w Warszawie. Jednakże w wielu miejscach moc dawki dochodzi nawet do $5 \mu\text{Sv/h}$ przy gruncie z uwagi na substancje promieniotwórcze, które wniknęły do gleby np. wraz z deszczem.



Fot. 4. Prypeć, plac centralny miasta – moc dawki ok. $1 \mu\text{Sv/h}$

Photo 4. Prypiat, central city square – dose rate approx. $1 \mu\text{Sv/h}$

Mimo odnalezienia wielu miejsc, gdzie poziom promieniowania jest wyższy, na zdecydowanej większości obszaru tzw. zony czarnobylskiej moc dawki niczym nie różni się od tej mierzonej w Warszawie, co obala mit o Czarnobylu jako miejscu skażonym na wieki i nienadającym się do zamieszkania.

Byłem w Fukuszymie...

Podróż do Elektrowni Jądrowej Fukushima Dai-ichi (Fukushima I) rozpocząłem 29 września 2014 r. z Tokio, skąd wraz z Panem Kazuo Kishida z japońskiego JICC⁵ udaliśmy się kolejną do miasta Iwaki oddalonego od siłowni o ok. 50 km. Mieszkańcy tego miasta byli na krótko ewakuowani po awarii elektrowni w 2011 r., gdyż pierwotnie Iwaki stanowiło granicę pierwszej, największej strefy wysiedleń. Z Iwaki udaliśmy się

następnie taksówką do aktualnej granicy zamkniętej strefy wokół elektrowni jądrowej, czyli do kompleksu sportowego zwanego J-Village (powstałego na potrzeby olimpiady). Obiekty sportowe zostały zaadaptowane na tymczasowe centrum dowodzenia TEPCO (operatora elektrowni jądrowej), gdzie mieliśmy spotkanie wstępne na temat aktualnego statusu prac wokół i w samej elektrowni. Po około godzinnym spotkaniu, wraz z grupą pracowników TEPCO, udałem się podstawionym autobusem w głąb strefy bezpieczeństwa wokół elektrowni jądrowej. Byłem tam jedynym obcokrajowcem.

A



B



Fot. 5. A: drogowskaz do elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi; B: pokryte brezentem przechowalniki niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych – efekt wielkoskalowej dekontaminacji całego terenu
Photo 5. A: the Fukushima Dai-ichi road sign; B: radioactive waste storage under the tarp – the effect of mass decontamination

Podstawowa różnica pomiędzy strefą czarnobylską a fukuszińską to obecność ludzi. Podczas gdy nieuprzątnięty teren EJ Czarnobyl świecił pustkami, w okolicy EJ Fukushima I zastępy ludzi porządkowały całą okolicę. Nie bez znaczenia jest tu oczywiście japońska mentalność i ich zamiłowanie do ładu, dyscypliny i planowania, czego nie można powiedzieć o mentalności w byłym Związku Sowieckim.



Fot. 6. Tymczasowe kontenery mieszkalne dla osób wysiedlonych z okolic elektrowni jądrowej Fukushima
Photo 6. Temporary house containers for evacuees

Przez większą część podróży autobusem licznik Geigera nie wskazywał nic ponad naturalne tło promieniowania. Ten odczyt utrzymywał się nawet w sytuacji przejeżdżania obok tymczasowych przechowalników niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych, które powstały w wyniku dekontaminacji (oczyszczania) dróg, dachów czy zwykłych pól i łąk. Tego typu „przechowalników” jest na terenie całej strefy bardzo dużo i wyglądają niczym pokryte brezentem hałdy ziemi i krzaków. Tak też jest w rzeczywistości – pracujące na miejscu służby usuwają praktycznie wszystko, co może być nawet odrobinę skażone, wykonując swą pracę aż nazbyt skrupulatnie. Powoduje to z jednej strony powstawanie ogromnych ilości materiałów odpadowych, które w większości nie stanowią żadnego zagrożenia, z drugiej strony oczyszczane tereny są sukcesywnie zwracane mieszkańcom, a ludzie powoli wracają do kolejno oczyszczonych wiosek i całych gmin.

Jest jeszcze jedna spektakularna różnica pomiędzy wjazdem do strefy czarnobylskiej a fukuszińskiej. O ile w tej pierwszej wjazdu pilnuje wojsko z bronią w rękę, obecne są zasieki i szlabany, o tyle w tej drugiej sytuacji widnieje jedynie tablica ostrzegawcza o zakazie wjazdu – i dla mentalności japońskiej jest to całkowicie wystarczające zabezpieczenie.



Fot. 7. Autor w autobusie wraz z pracownikami TEPCO i JICC
Photo 7. Author in the bus together with TEPCO and JICC employees

Moc dawki promieniowania jonizującego nieznacznie przekroczyła poziom tła mniej więcej na wysokości elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi (Fukushima II), czyli siostry zniszczonej elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi. Praktycznie do momentu dojechania do celu liczniki Geigera nie przekraczały wskazań 3 $\mu\text{Sv/h}$, z czego na przeważającym obszarze nie zanotowaliśmy więcej jak 1 $\mu\text{Sv/h}$. Po przybyciu na miejsce zostaliśmy poproszeni o przebranie się w fartuchy ochronne, założenie kasków i papie-

rowych maseczek na twarz. Następnie wsiedliśmy do kolejnego autobusu, który obwioził nas po całym terenie elektrowni jądrowej Fukushima Dai-ichi złożonej z sześciu bloków typu BWR. Byliśmy pod blokami reaktorów nr 1, 4, 5 i 6, w okolicy budynków administracyjnych, przy niezliczonych zbiornikach na wodę wypompowaną z reaktora, przy betonowych kontenerach wyjętego wypalonego paliwa jądrowego, jak też nad brzegiem samego oceanu.

A



B



Fot. 8. A: zbiorniki na skażoną wodę chłodzącą reaktory; B: zabezpieczony budynek reaktora numer 1

Photo 8. A: contaminated water tanks from reactors; B: reactor unit no. 1

Poziom promieniowania wskazywany przez nasze liczniki Geigera utrzymywał się na poziomie kilku $\mu\text{Sv/h}$ przez większość trasy. W niektórych miejscach (okolice zbiorników z wodą, pojemników na wypalone paliwo) odczyt wzrastał do kilkunastu $\mu\text{Sv/h}$. Pod samymi uszkodzonymi reaktorami moc dawki wynosiła między 20 a 35 $\mu\text{Sv/h}$, podczas gdy w najbardziej skażonym miejscu (spośród tych, w których byliśmy), na skarpie ok. 100 metrów od reaktora nr 4, moc dawki wzrosła do ok. 150 $\mu\text{Sv/h}$. Po zakończeniu objazdu każdy z uczestników został sprawdzony w bramce dozymetrycznej, po czym udaliśmy się w drogę powrotną. Do Tokio wróciłem jeszcze tego samego dnia późnym wieczorem.

Byłem w Hiroszynie...

6 sierpnia 1945 r. japońskie miasto Hiroszima stało się pierwszą w historii ofiarą wybuchu bomby jądrowej, co było jednym z głównych czynników kończących II wojnę światową. W wyniku eksplozji czterotonowej bomby uranowej, o złowrogiej nazwie „Little Boy”, zginęło w jednej chwili ok. 80 000 spośród ok. ćwierć miliona mieszkańców tego miasta. Rannych zostało kolejne kilkadziesiąt tysięcy osób. W chwili obecnej całkowicie odbudowaną Hiroszimę zamieszkuje ponad milion ludzi, jednakże ślady z przeszłości są obecne praktycznie wszędzie.



Fot. 9. Autor przed wejściem do instytutu Radiation Effects Research Foundation w Hiroszynie

Photo 9. The author in front of the RERF's main entrance in Hiroshima

Odwiedziłem Hiroszimę dnia 1 października 2014 r. Swoje pierwsze kroki skierowałem do amerykańsko-japońskiego instytutu Radiation Effects Research Foundation (RERF), który zajmuje się m.in. badaniem skutków wpływu promieniowania jonizującego na zdrowie ludzkie, czy też skutecznymi działaniami komunikacyjnymi dotyczącymi promieniowania. Po interesującym spotkaniu przeszedłem główną ulicą, zwaną Bulwarem Pokoju, do centrum miasta i Parku Pokoju, w którym znajdują się m.in. Muzeum poświęcone wybuchowi jądrowemu, pomnik ofiar oraz tzw. A-Bomb Dome, czyli ruina jednego z głównych budynków przedwojennej Hiroszimy, celowo zostawiony nieodbudowany.



Fot. 10. Górna: muzeum bomby jądrowej – makieta obrazująca skalę zniszczenia miasta; Dolna: muzeum bomby jądrowej – kamienne schody ze słynnym „cieniem” człowiek

Photo 10. Upper: A-Bomb Museum and the model of destroyed city, Lower: A-Bomb Museum – the stony stairs with human “shadow”

Podkreślić należy, iż atak jądrowy na Hiroszimę nie miał nic wspólnego z energetyką jądrową. Miał jednak zasadniczy związek z promieniowaniem jonizującym, a w zasadzie jego negatywnym postrzeganiem. Co więcej, pierwotne badania ofiar Hiroszimy i Nagasaki stały się podstawami współczesnych norm ochrony przed promieniowaniem.

W trakcie zwiedzania Hiroszimy miałem ze sobą cały czas licznik Geigera, aby móc monitorować aktualny poziom promieniowania. W trakcie spaceru po mieście absolutnie nigdzie nie zarejestrowałem jakiegokolwiek wzrostu mocy dawki ponad naturalne tło. Jedynie tuż przy samych ruinach wspomnianego A-Bomb Dome licznik Geigera pokazał ok. 0,3 $\mu\text{Sv/h}$ i nigdzie indziej więcej.



Fot. 11. Górna: autor na tle pomnika ofiar ataku – moc dawki równa naturalnemu tłu promieniowania; Dolna: budynek-pomnik „A-Bomb Dome” – moc dawki równa naturalnemu tłu promieniowania

Photo 11. Upper: the author and A-bomb victims' monument – dose rate equals natural background radiation; Lower: the building-monument "A-Bomb Dome" – dose rate equals natural background radiation

Zdecydowanie największe wrażenie robi główne muzeum w Parku Pokoju, w którym zaprezentowano cały przebieg zdarzenia oraz katastrofalne skutki eksplozji. Zwiedzać go nie było łatwo, gdyż obecne były tłumy japońskiej młodzieży, a co chwila podjeżdżał autokar z nową grupą uczniów. Jednakże mimo to muzeum pozostawiło silne przeżycia z uwagi na fakt dosłownego zobrazowania tragedii mieszkańców Hiroszimy: dziesiątki tysięcy ofiar, zniszczone mienie, słynne „ludzkie cienie” w kamieniu, specyficznie stopione szkło etc. Nieopodal muzeum, we wspomnianym już Parku Pokoju zlokalizowanym na centralnej wyspie miasta, znajduje się pomnik ofiar bomby z wrytymi nazwiskami każdej z nich. Nieopodal płonie ogień, który w zamyśle projektantów ma zgasnąć dopiero wtedy, kiedy zlikwidowana zostanie ostanía bomba jądrowa na świecie. Nieco dalej znajduje się pomnik ofiar-dzieci z tysiącami papierowych figurek ptaków orgiami, dzwon pokoju oraz wspomniana A-Bomb Dome ze zniszczonym dachem.

Na zakończenie

Czarnobyl, Fukuszyma i Hiroszima – te trzy miejsca zapisały się w historii świata jako wielkie tragedie. Dla przeciętnego człowieka kojarzą się niestety ze „złowrogim promieniowaniem”, co generuje bardzo wiele mitów. Chociaż we wszystkich tych trzech miejscach doszło do niewątpliwych tragedii, to jednak należy wyjaśnić wszelkie nieprawdy narosłe przez lata.

Odwiedziłem Czarnobyl, Fukuszymę i Hiroszimę osobiście zabierając za każdym razem wykalibrowany licznik Geigera służący do pomiaru mocy dawki promieniowania jonizującego (praktycznie gamma). Dzięki temu miałem możliwość na własne oczy przekonać się, jaki jest dzisiaj poziom promieniowania w każdym z tych miejsc, czy popularne mity mają jakiegokolwiek podstawy oraz czy gdziekolwiek istnieje realne ryzyko dla zdrowia. Okazuje się, że moce dawek są zdecydowanie mniejsze niż można było się tego spodziewać, a w większości miejsc nie ma już żadnego wzrostu radioaktywności, ponad i tak istniejące naturalne tło. Jest to bardzo istotna informacja, która pozwoli lepiej wyjaśnić wszystkie wątpliwości związane ze zjawiskiem promieniowania i zrozumieć, że strach jest w głównej mierze miarą ludzkiej niewiedzy.

dr inż. Krzysztof Wojciech Fornalski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa

Przypisy:

1. Chociaż tłumaczenia, że atak jądrowy na Hiroszimę nie ma nic wspólnego z energetyką jądrową, nie zawsze są zauważane
2. Fornalski K.W. 'Jakie jest promieniowanie w Czarnobylu - pomiary w czasie pobytu w dniach 9-13.IV.2008 r.' http://www.nuclear.pl/publikacje/pliki/Jakie_jest_promieniowanie_w_Czarnobylu.pdf
3. W praktyce chodzi o moc dawki promieniowania gamma. Po uwzględnieniu radioaktywnego gazu radonu (który jest składnikiem naszej atmosfery) i innych składowych, całkowita moc dawki skutecznej wynosi ok. 0,27 $\mu\text{Sv/h}$, czyli 2,4 mSv/rok (od źródeł naturalnych)
4. Miejsce, które było najbardziej skażone po awarii w 1986 r., co charakteryzowało się m.in. częściowym obumarciem roślinności w tym miejscu (wg przekazu naszego przewodnika).
5. JAIF International Cooperation Center - komórka współpracy z zagranicą działająca przy Japońskim Forum Atomowym

WKŁAD ENERGETYKI JĄDROWEJ W PRZECIWDZIAŁANIE ZMIANOM KLIMATU

Nuclear for Climate position paper: "Nuclear is part of the solution for fighting climate change"

Artykuł przygotowany przez inicjatywę
"Energia Jądrowa na rzecz Klimatu"

„Energia jądrowa na rzecz klimatu” jest globalną inicjatywą popieraną przez ponad 140 regionalnych i narodowych stowarzyszeń jądrowych i towarzystw technicznych. W swym stanowisku opublikowanym 24 listopada autorzy dokumentu wyrazili przekonanie, że znacząca ekspansja energetyki jądrowej jest dla świata konieczna, jeśli ma być osiągnięta 80-cio procentowa redukcja emisji gazów cieplarnianych do roku 2050.

Oświadczenie/stanowisko zatytułowane „Wkład energetyki jądrowej w przeciwdziałanie zmianom klimatu” wzywa negocjatorów uczestniczących w 21. Konferencji Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu (COP21) w Paryżu do wypracowania umowy w sprawie redukcji emisji gazów cieplarnianych, która zapewni prawo wszystkim krajom do wyboru energii jądrowej w celu zmniejszenia emisji gazów, a jednocześnie osiągnięcia rozwoju gospodarczego.

Ekspert ds. energii i klimatu są zgodni, a potwierdzają to liczne opracowania naukowe, że najlepszym sposobem na osiągnięcie niskoemisyjnego miks energetyczny jest wykorzystanie energii jądrowej. Energia jądrowa umożliwia redukcję emisji CO₂, a jednocześnie pomaga uzyskać bezpieczeństwo energetyczne i przyspiesza rozwój przemysłowy i ekonomiczny.

Międzynarodowy Zespół do spraw Zmian Klimatu (IPCC) określa trzy sposoby produkcji energii elektrycznej, które nie emitują CO₂, źródła odnawialne, energia jądrowa i paliwa kopalne z zastosowaniem wychwyty i magazynowania dwutlenku węgla. Według IPCC istnieje ograniczona ilość emisji, która nie może być przekroczona, jeśli chcemy ograniczyć globalne ocieplenie nie przekraczające 2°C. IPCC ocenia, że już nastąpiło ocieplenie w wysokości 2/3 tego limitu, dlatego znacząca redukcja emisji gazów jest konieczna już teraz.

Nuclear for Climate, a global initiative supported by more than 140 regional and national nuclear associations and technical societies, said in a new position paper published 24 November that a significant expansion of nuclear energy is necessary for the world to achieve an 80 percent reduction in greenhouse gas emissions by 2050.

The position paper, entitled "Nuclear is part of the solution for fighting climate change" urges negotiators at the United Nations Framework Convention on Climate Change Conference of the Parties (COP21) to develop an achievable agreement for the reduction of greenhouse gases which ensure(s) that the right of countries to choose nuclear energy in order to reduce greenhouse gas emissions while meeting their energy and development objectives.

Energy and climate experts agree, and multiple studies confirm, that pathways with the greatest probability for successfully decarbonizing the energy mix require the use of nuclear energy. Countries must meet climate goals and at the same time meet other energy policy objectives. Nuclear energy enables countries to reduce CO₂ emissions while helping to improve energy security, providing affordable electricity, and facilitating economic and industrial development.

The International Panel on Climate Change (IPCC) identifies three types of carbon-free electricity: renewables, nuclear energy and fossil fuels with carbon capture and storage. According to the panel there is a limited amount of cumulative emissions that cannot be exceeded if we are to limit average global warming to 2°C. The IPCC estimates that we have already reached nearly two-thirds of this amount and that significant greenhouse gas reductions are needed now.

Słowa kluczowe: Inicjatywa "Energia jądrowa na rzecz klimatu", konferencja ONZ w sprawie zmian klimatu, Konferencja COP21 (21. Konferencja Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu), energia jądrowa, redukcja emisji gazów cieplarnianych, stowarzyszenia energii jądrowej

Key words: Nuclear for Climate initiative, United Nations Framework Convention on Climate Change Conference of the Parties (COP21), nuclear power, reduction of greenhouse gases emissions, nuclear associations

„Energia jądrowa na rzecz klimatu” jest inicjatywą zapoczątkowaną przez członków Francuskiego Towarzystwa Energetyki Jądrowej (SFEN), Amerykańskiego Towarzystwa Jądrowego (ANS) i Europejskiego Towarzystwa Jądrowego (ENS). Obecnie zrzesza ona specjalistów i naukowców z sektora energetyki jądrowej ze wszystkich części świata, a w jej skład wchodzi przedstawiciele 140 regionalnych i krajowych stowarzyszeń jądrowych i towarzystw technicznych.

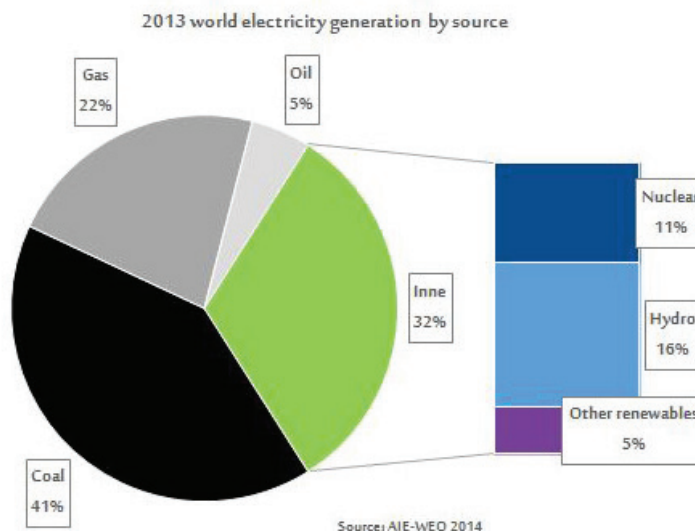
Więcej informacji jest dostępnych na stronie:
www.nuclearforclimate.org

Respektujemy wnioski opracowane przez Pierwszą Grupę Roboczą z Międzyrządowego Zespołu do spraw Zmian Klimatu (IPCC), która stwierdziła z 95% pewnością, że działalność człowieka i emisje gazów cieplarnianych są dominującą przyczyną obecnej zmiany klimatu. Wnioski te są wynikiem

pracy zbiorowej ekspertów z 40 krajów, którzy dokonali analizy i oceny 9200 publikacji naukowych, zgodnie z zasadą „wzajemnej weryfikacji” (z języka angielskiego „peer review”).

Zwracamy się z apelem do negocjatorów na Konferencję COP21 (21. Konferencja Stron Ramowej Konwencji Naro-

dów Zjednoczonych w sprawie zmian klimatu) w Paryżu, aby doprowadzili do porozumienia, które spowoduje zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do poziomu pozwalającego ograniczyć wzrost średniej temperatury na naszej planecie o nie więcej niż 2°C (rys. 1).



Rys.1. To jest globalne wyzwanie wymagające zastosowania wszelkich dostępnych technologii niskoemisyjnych do wytwarzania energii
Fig.1. This is a massive global challenge that requires the use of all available low-carbon energy technologies

Jesteśmy przekonani, że **energia jądrowa jest kluczowym elementem rozwiązania na rzecz ograniczenia zmian klimatu**, oraz że:

1. Świat musi korzystać ze wszystkich źródeł energii niskoemisyjnej, w tym z energii jądrowej, jeśli chce ograniczyć zmiany klimatyczne, a jednocześnie spełnić cele związane z rozwojem.

Globalne wyzwanie jest ogromne: zgodnie z IPCC, do roku 2050, 80% światowej energii elektrycznej będzie musiało być wytworzone przy wykorzystaniu technologii niskoemisyjnych (w porównaniu z obecnymi 30%), aby powstrzymać zmianę klimatu¹. W tym samym okresie, globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną podwoi się, by zaspokoić podstawowe potrzeby człowieka, biorąc pod uwagę wzrost liczby ludności i cele rozwoju. Ponadto, przewiduje się, że niskoemisyjna energia elektryczna odegra główną rolę w zmniejszeniu emisji dwutlenku węgla w innych sektorach². Wyzwanie to wymaga zastosowania wszystkich technologii niskoemisyjnych: energii ze źródeł odnawialnych, energii jądrowej i paliw kopalnych, łącznie z wychwytywaniem dwutlenku węgla i jego sekwestracją, a także podkreśla potrzebę wytwarzania na dużą skalę energii elektrycznej niskoemisyjnej lub bezemisyjnej.

IPCC stoi na stanowisku, że „Wytwarzanie gazów cieplarnianych w całym okresie eksploatacji na kilowatogodzinę przez elektrownie atomowe jest dwa rzędy wielkości niższe niż energii elektrycznej z paliw kopalnych i porównywalne do większości odnawialnych źródeł energii.”³

2. Świat musi podjąć pilne działania na rzecz redukcji emisji gazów cieplarnianych. Energia jądrowa jest sprawdzonym rozwiązaniem niskoemisyjnym, dostępnym już dziś.

Znaczna część uwalnianego CO₂ pozostaje w atmosferze przez długi czas i kumuluje się. Aby spowolnić wzrost jego stężenia, musimy rozpocząć redukcję emisji CO₂ już teraz. Wprowadzenie zmiany modelu energii zajmuje całe dekady.

Do powstrzymania zmiany klimatu musimy wykorzystać cały zakres opcji niskoemisyjnych dostępnych obecnie i jednocześnie kontynuować dalszy rozwój zaawansowanych technologii, które mogą być wdrożone do roku 2050. Energia jądrowa jest jednym z niewielu dostępnych obecnie źródeł energii, które okazały się skuteczne i może być wytwarzana na dużą skalę.

3. Wszystkie państwa mają prawo do wyboru energii jądrowej, aby zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych do atmosfery i jednocześnie spełnić swoje inne cele energetyczne.

Eksperti ds. energii i klimatu podzielają opinię, popartą licznymi badaniami, że najbardziej prawdopodobnym rozwiązaniem dla pomyślnego zmniejszenia emisji dwutlenku węgla przy wytwarzaniu energii elektrycznej jest zastosowanie energii jądrowej. Państwa muszą spełnić cele klimatyczne, a jednocześnie osiągnąć inne cele polityki energetycznej. Energia jądrowa umożliwia państwom zmniejszenie emisji CO₂, a także przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa energetycznego, zapewniając niedrogą energię elektryczną, a także ułatwia rozwój gospodarczy i przemysłowy.

Apelujemy zatem do negocjatorów uczestniczących w rozmowach na temat klimatu, odbywających się w Paryżu, aby zadbać o to, aby prawo państw do wyboru energii jądrowej w celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, przy jednoczesnym spełnieniu swoich celów w zakresie energii i rozwoju, nie było w żaden sposób naruszone przez nowe protokoły UNFCCC, w szczególności w odniesieniu do dostępu do mechanizmów finansowania ochrony klimatu, takich jak ekologiczny fundusz klimatyczny Green Climate Funds.

Świat musi korzystać z niskoemisyjnych źródeł energii, w tym z energii jądrowej, jeśli chce ograniczyć zmianę klimatu i jednocześnie spełnić swe cele rozwoju.

Wyzwanie jest ogromne: do roku 2050 80% energii elektrycznej będzie musiało być wytwarzane przy użyciu technologii niskoemisyjnych⁴.

Stanowi to wyraźny kontrast w porównaniu z dzisiejszym globalnym portfelem energii elektrycznej, którego 70% stanowią technologie związane ze zużyciem paliw kopalnych. Produkcja energii elektrycznej jest głównym źródłem emisji CO₂. Współczesna energia niskoemisyjna stanowi jedynie 30% koszyka energii elektrycznej i pochodzi głównie z energii wodnej (połowa) oraz energii jądrowej (jedna trzecia).

W celu zmniejszenia dominującego zużycia paliw kopalnych, potrzebne będą znaczne wysiłki, szczególnie biorąc pod uwagę fakt, że wykorzystanie paliw kopalnych do produkcji energii elektrycznej w chwili obecnej nie odnotowuje tendencji spadkowej. Od roku 2010, wykorzystanie węgla jest faktycznie wyższe od wszystkich niekopalnych źródeł energii łącznie.⁵

Od 1990 r. (roku odniesienia dla Protokołu z Kioto), emisja CO₂ nie zmalała, a nawet faktycznie wzrasta (+ 60%).⁶ Jeżeli koszyk energii elektrycznej będzie nadal zdominowany przez paliwa kopalne, to średni globalny wzrost temperatury przekroczy 6°C⁷, o wiele za dużo niż zakładany cel 2°C.

Globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną powinno podwoić się, aby zaspokoić podstawowe potrzeby człowieka, wzięwszy pod uwagę wzrost liczby ludności i cele rozwoju.

Do roku 2050 liczba ludności na świecie wynosić będzie ok. 9,6 mld.⁸ Postęp w dziedzinie efektywności energetycznej, bez względu na jego wielkość, nie wystarczy, aby sprostać rosnącemu zapotrzebowaniu na energię elektryczną (które rośnie szybciej niż popyt na energię). Zgodnie ze scenariuszami Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA)⁹, choć są one ambitne w zakresie efektywności energetycznej, to przewidują od 80% do 130% wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną do roku 2050, napędzanego głównie przez gospodarki wschodzące.

Walka ze zmianami klimatu nie powinna zagrażać rozwojowi krajów. Dzisiaj około 1,2 mld¹⁰ ludzi (odpowiednik liczby ludności Indii czy Afryki) nie ma dostępu do energii elektrycznej, ani do korzyści rozwojowych, jakie ona ze sobą niesie. Po-

nadto, o 1 mld ludzi więcej ma dostęp tylko do niepewnych sieci elektrycznych. Około 2,8 mld ludzi wykorzystuje drewno lub inne produkty biomasy do gotowania i ogrzewania, co powoduje zanieczyszczenie szkodliwe dla zdrowia człowieka.

Wzrost elektryfikacji pomoże wywyższyć tych ludzi z ubóstwa i poprawić jakość ich życia.

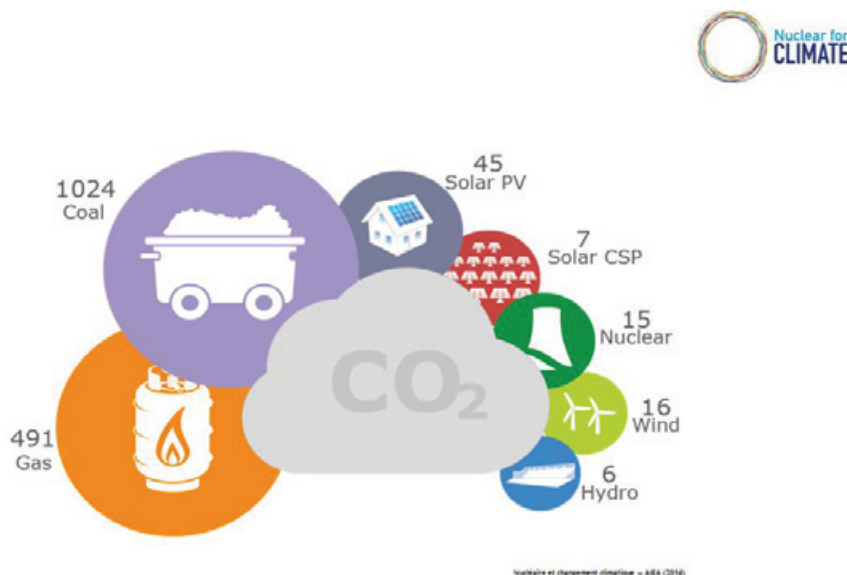
Oczekuje się, że niskoemisyjna energia elektryczna odegra ważną rolę w dekarbonizacji innych sektorów¹¹.

Energia elektryczna może zastąpić paliwa kopalne w wielu sektorach (np. w ogrzewaniu domów i transporcie), a tym samym zmniejszy emisję dwutlenku węgla, jeżeli będzie wytwarzana w sposób niskoemisyjny. Na przykład, w sektorze transportu, wprowadzenie transportu kolejowego i rozwój pojazdów elektrycznych wykorzystujących energię niskoemisyjną znacznie zmniejszy zużycie ropy i węgla. Dla osiągnięcia globalnych celów klimatycznych, IEA zaleca, aby energia niskoemisyjna, stanowiąca 17% energii obecnie¹², wzrosła do 25% całkowitego zużycia energii do roku 2050.

Osiągnięcie tak ambitnego celu będzie wymagać zastosowania wszystkich technologii niskoemisyjnych, w tym energii jądrowej.

IPCC rozróżnia trzy rodzaje energii elektrycznej bez emisji: energię z odnawialnych źródeł, energię jądrową i technologie wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (ang. CCS – Carbon Capture and Storage).

Energia jądrowa jest niskoemisyjnym źródłem energii. W całym cyklu życia (budowy, eksploatacji, likwidacji) emisje energii jądrowej są porównywalne do tych z odnawialnych źródeł energii. Energia jądrowa emituje średnio 15g CO₂/kWh – jest to 30 razy mniej niż gaz (491g/kWh), 65 razy mniej niż węgiel (1024g/kWh), trzy razy mniej niż energia fotowoltaiczna (45g/kWh), a w przybliżeniu na tym samym poziomie, co energia wiatrowa¹³(rys. 2.).



Rys.2. IPCC rozróżnia 3 źródła niskoemisyjnego wytwarzania energii elektrycznej: źródła odnawialne, energię jądrową oraz technologie wychwytywania i składowania CO₂

Fig. 2. IPCC identifies 3 sources of low – carbon energies: renewables, nuclear and CCS

Świat wymaga podjęcia natychmiastowych kroków w kierunku zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Energia jądrowa jest sprawdzonym rozwiązaniem niskoemisyjnego wytwarzania energii, dostępnym w chwili obecnej.

Znaczna część uwolnionego do atmosfery dwutlenku węgla pozostaje tam przez długi czas. Aby spowolnić wzrost stężenia CO₂, już teraz musimy rozpocząć redukcję jego emisji.

Po uwolnieniu dwutlenek węgla krąży pomiędzy atmosferą, oceanem a ziemią. Jego część rozpuszcza się w oceanie i sprawia, że staje się on bardziej kwaśny. Ocenia się, jednakże, że prawie połowa emitowanego CO₂ pozostaje w atmosferze przez stulecie, a jego część (20 %) pozostaje tam nawet przez kilka tysięcy lat.¹⁴

Zdaniem IPCC, istnieje ograniczona łączna liczba skumulowanych emisji CO₂¹⁵ (zwana dalej „bilansem emisji dwutlenku węgla”), która nie może zostać przekroczona w przyszłości, jeśli chcemy utrzymać stężenie CO₂ poniżej pewnego poziomu i ograniczyć średnie globalne ocieplenie do 2°C. IPCC szacuje, że do chwili obecnej zużyliśmy już prawie dwie trzecie tej ilości.

Już teraz musimy rozpocząć redukcję emisji CO₂.

Oznacza to, po pierwsze, że nie możemy sobie pozwolić na to, aby wybierać rozwiązania opóźniające przyszłą redukcję emisji. Wykazano, że kiedy zamykana jest elektrownia jądrowa, energia jądrowa często zastępowana jest przez energię elektryczną z paliw kopalnych. Po zamknięciu elektrowni jądrowej w San Onofre w Kalifornii w 2012 r., zapotrzebowanie na gaz ziemny natychmiast wzrosło, a następnie stan Kalifornia¹⁶ zatwierdził plany dla nowych obiektów do wytwarzania energii elektrycznej przy wykorzystaniu gazu ziemnego, aby zastąpić utraconą moc wytwórczą. W Niemczech, po podjęciu w 2011 r. decyzji o przyspieszeniu wygaszania energii jądrowej, odsetek węgla zużytego do wytworzenia energii elektrycznej wzrósł z 44,9% w 2011 r. do 47,5% w 2013 r.

W obu przypadkach, nawet wtedy, gdy część energii odnawialnej w miksie energetycznym wzrasta, to całkowite korzyści związane z oszczędzaniem węgla przysłoniła przedwczesna utrata możliwości wytwarzania w energetyce jądrowej. Z danych historycznych dowiadujemy się, że transformacja energetyczna potrwa całe dekady. Według IEA, udział paliw kopalnych w podaży energii na świecie pozostaje na tym samym poziomie od ponad 40 lat. Nie możemy czekać aż przyszłe technologie będą dostępne. Musimy wykorzystać pełny zakres dostępnych obecnie rozwiązań niskoemisyjnych, i jednocześnie dalej rozwijać zaawansowane technologie, które mogą zostać wprowadzone do roku 2050. Energia jądrowa, energia wodna, wiatrowa i słoneczna, wśród niskoemisyjnych źródeł energii elektrycznej wymienionych przez IPCC, mogą być zastosowane na dużą skalę w przemyśle i okazały się skuteczne. Z kolei, zdaniem Międzynarodowej Agencji Energetycznej, technologie wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS) zostały opracowane „powoli ze względu na wysokie koszty oraz brak politycznego i finansowego zaangażowania.”

Energia jądrowa jest dostępnym, niskoemisyjnym i wydajnym rozwiązaniem przemysłowym.

Z 438¹⁷ reaktorów jądrowych będących w eksploatacji, energia jądrowa jest dostępna w 30 krajach, stanowiących ponad dwie trzecie ludności świata. Energia jądrowa wykazała swą skuteczność: według Międzynarodowej Agencji

Energetycznej (EIA)¹⁸, od 1971 r., energia jądrowa zapobiegła emisji CO₂ równej dwuletnim łącznym światowym emisjom CO₂. W Europie energia jądrowa pomogła zapobiec rocznej emisji CO₂ generowanej przez wszystkie samochody na drogach w Niemczech, Hiszpanii, Francji, Wielkiej Brytanii i we Włoszech¹⁹.

Obecnie jedynie sześć państw spełnia lub przewyższa zalecenia IPCC dotyczące koszyka energii elektrycznej (który ma zawierać 80% niskoemisyjnej energii elektrycznej). Cztery z nich: Szwajcaria, Szwecja, Francja i Brazylia posiadają koszyk energii elektrycznej, na który w znacznej części składa się energia jądrowa. Energia jądrowa pomaga wytworzyć 77% energii elektrycznej we Francji i 40% energii elektrycznej w Szwajcarii i Szwecji. Z kolei Brazylia ma dwa reaktory jądrowe, które generują 3% energii elektrycznej w tym kraju.

Energia jądrowa okazała się również skuteczna pod kątem szybkiego tempa, w jakim może osiągnąć ogromne rezultaty. Na chwilę obecną państwa, które najszybciej zdołały zmniejszyć emisję dwutlenku węgla w procesie wytwarzania energii elektrycznej, takie jak Szwecja i Francja, dokonały tego przede wszystkim dzięki zwiększeniu udziału energii jądrowej.

W państwach członkowskich OECD²⁰ elektrownie jądrowe są podstawowym źródłem niskoemisyjnego wytwarzania energii elektrycznej. Musimy w nie inwestować, aby osiągnąć nasze cele w zakresie klimatu.

Dłuższa eksploatacja elektrowni jądrowych tam, gdzie jest to technicznie możliwe, bądź ponowne uruchomienie elektrowni jądrowych, które zostały tymczasowo zamknięte, zapewnia natychmiastowe dodatkowe możliwości produkcji energii przy niskiej emisji dwutlenku węgla. Zapobiega to zastojowi w procesie wytwarzania energii, gdyż dotychczasowa energia jądrowa może być zastąpiona przez paliwa kopalne. Umożliwia ona państwu dalszą redukcję emisji CO₂ i koncentrację wysiłków na zmniejszeniu udziału paliw kopalnych w koszyku energetycznym.

Energia jądrowa stanowi 63% niskoemisyjnej energii elektrycznej wytwarzanej w USA. Na 99 reaktorów będących w eksploatacji, 78 z nich otrzymało już zezwolenia na eksploatację na okres 60 lat, wydane przez Komisję Dozoru Jądrowego Stanów Zjednoczonych Ameryki (U.S. Nuclear Regulatory Commission).

W Unii Europejskiej energia jądrowa stanowi ponad połowę niskoemisyjnej energii elektrycznej. Finlandia, Holandia, Wielka Brytania i Szwajcaria uruchomiły również programy unowocześnienia swoich obiektów do długoterminowej eksploatacji. We Francji koncern EDF zamierza zakończyć remont swoich 58 reaktorów, aby zapewnić ich bezpieczne działanie przez ponad 40 lat.

W Japonii, gdzie udział paliw kopalnych w bilansie energii elektrycznej wzrósł do 85% po wyłączeniu reaktorów jądrowych, ponowne uruchomienie dwóch reaktorów w lecie 2015 r. jest istotnym krokiem do ponownego rozpoczęcia masowej dekarbonizacji sektora energii elektrycznej w tym kraju. W swoim zobowiązaniu na rzecz rozmów klimatycznych w Paryżu, Japonia zaproponowała plan na rok 2030, zgodnie z którym energia jądrowa będzie stanowiła co najmniej 20% miksu energetycznego.

Energia jądrowa wspiera niskoemisyjny rozwój w krajach rozwijających się.

W 2050 r., w gronie sześciu największych gospodarek narodowych będą Stany Zjednoczone i „BRICS” (Brazylia, Rosja, Indie, Chiny i RPA). W Chinach węgiel stanowi źródło 70% całkowitej energii elektrycznej, a w Indiach – aż 80%.

Te sześć krajów już eksploatuje komercyjne reaktory jądrowe i posiada ambitne programy nuklearne. Chiny mają najbardziej ambitny program rozwoju energii jądrowej z ponad 20 reaktorami w fazie budowy²¹. IEA²² przewiduje, że same tylko Chiny do roku 2050 wytworzą jedną trzecią światowej energii jądrowej. W Chinach, zgodnie z projektem nowego planu pięcioletniego na lata od 2016 do 2020 kolejne 100 reaktorów jądrowych rozpocznie działanie w ciągu następnej dekady, a corocznie siedem nowych reaktorów będzie uruchamianych od chwili obecnej aż do roku 2030.

Wszystkie państwa mają prawo wyboru energii jądrowej w celu zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych, i jednocześnie osiągnąć swe cele energetyczne.

Eksperci ds. energii i klimatu podzielają opinię, popartą licznymi badaniami, że najbardziej prawdopodobnym rozwiązaniem dla pomyślnego zmniejszenia emisji dwutlenku węgla w trakcie wytwarzania energii elektrycznej jest zastosowanie energii jądrowej.

Według scenariusza 2DS²³, uważanego za najbardziej skuteczne rozwiązanie prowadzące do osiągnięcia celu, (polegającego na ograniczeniu do końca XXI wieku wzrostu średnich temperatur o nie więcej niż 2°C), IEA prognozuje, że moc energii jądrowej powinna zwiększyć się ponad dwukrotnie do roku 2050, z obecnego poziomu ok. 400 GWe do 930 GWe. Odpowiada to wzrostowi udziału energii jądrowej w globalnym bilansie energii elektrycznej z 11% do 17%.

W liście otwartym²⁴, opublikowanym pod koniec 2013 r. czterej główni klimatolodzy stwierdzili, że:

„Nie ma wiarygodnej drogi prowadzącej do stabilizacji klimatu, która nie obejmowałaby istotnej roli energii jądrowej... Nie możemy pozwolić sobie na odrzucenie jakiegokolwiek technologii.”

Kraje muszą osiągnąć cele klimatyczne i jednocześnie spełnić inne cele polityki energetycznej.

Generalnie rzecz biorąc, polityki energetyczne są nakierowane na realizację kilku celów jednocześnie, takich jak bezpieczeństwo dostaw, dostępność energii elektrycznej, a także rozwój gospodarczy i przemysłowy. Każdy kraj musi również radzić sobie z szeregiem ograniczeń w zakresie zasobów naturalnych, infrastruktury, umiejętności, opinii publicznej, sieci transportowych i dystrybucji, a także zapotrzebowania na energię elektryczną. To krajowi decydenci podejmują najważniejsze decyzje, aby osiągnąć cele, biorąc pod uwagę lokalne ograniczenia.

Na rozmowy COP21 każdy kraj wnosi swój wkład w globalne wysiłki na rzecz zmniejszenia emisji dwutlenku węgla. Najbardziej realistyczne zobowiązania to takie, które mają największą szansę na pomyślną realizację w przyszłości. Są to plany, które osiągną redukcję emisji CO₂, a także zrealizują inne cele polityki energetycznej.

Konieczne jest, aby kraje miały dostęp do najszerzej oferty energii niskoemisyjnej, która pozwoli im na maksymalną elastyczność, aby sprostać temu wyzwaniu.

Energia jądrowa pozwala na zmniejszenie emisji CO₂ i przyczynia się do poprawy bezpieczeństwa energetycznego.

Energia jądrowa może w znacznym stopniu przyczynić się do bezpieczeństwa energetycznego w wielu krajach.

Po pierwsze, zmniejsza zapotrzebowanie na import węgla i gazu ziemnego.

Dodatkowo, koszty produkcji energii jądrowej są niezmiennie w czasie i są odzwierciedlone w niezmiennych rachunkach za energię elektryczną. W przypadku energii elektrycznej z paliw kopalnych, ceny paliw stanowią znaczną

część całkowitych kosztów produkcji, i podlegają one wahaniom. Jeżeli chodzi o energię jądrową, to udział kosztu uranu stanowi tylko niewielką część (około 5%) całkowitego kosztu energii elektrycznej.

Kraje korzystające z energii jądrowej zazwyczaj gromadzą kilkuletnie zapasy strategiczne dla dostaw paliwa. Niesamowita gęstość energetyczna pochodząca z paliwa jądrowego oznacza, że trzeba przewozić tylko niewielkie ilości uranu, a jego zapasy na kilka lat jest łatwo przechować na terenie elektrowni. Źródła uranu występują w różnych krajach na całym świecie, w tym w krajach OECD, takich jak Kanada i Australia. Według Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA), odkryte zasoby uranu są wystarczające, aby wspierać prognozowany wzrost energii jądrowej przez ponad 120 lat.²⁵ Ponadto, dodatkowe zasoby podlegające eksploatacji powinny rozszerzyć dostępność uranu na ponad 300 lat.

Na koniec, energia jądrowa i energia ze źródeł odnawialnych odgrywa coraz bardziej komplementarną rolę w systemach elektrycznych i w ten sposób przyczynia się do niezawodnych dostaw energii elektrycznej.

Niezawodne dostawy energii elektrycznej do konsumentów wymagają skomplikowanego systemu, który zrównoważy podaż i popyt w każdym czasie, przy wykorzystaniu do tego różnych środków: elastyczności różnych technologii wytwarzania, elektrowni wodnych szczytowo-pompowych (PSH lub PHES), oraz zarządzania popytem. Zapotrzebowanie na energię elektryczną waha się w ciągu dnia, jak również w różnych porach roku. Rozwój nowych technologii odnawialnych przyczynia się do dekarbonizacji koszyka energii elektrycznej, a jej wytwarzanie również zmienia się w ciągu dnia i pory roku. Elektrownie jądrowe uzupełniają energię ze źródeł odnawialnych, ponieważ zapewniają dostawy energii elektrycznej niskoemisyjnej 24 godziny na dobę (z planowanymi postojami w celach konserwacji). Elektrownie jądrowe pozwalają instalacjom elektrycznym dopasować zmienność energii słonecznej i wiatrowej.

Energia jądrowa pozwala na redukcję emisji CO₂, zapewniając jednocześnie energię elektryczną po przystępnych cenach.

Cena detaliczna energii elektrycznej obejmuje koszty produkcji, ale także koszty bilansowania, dystrybucji oraz koszty transportu i podatków. Koszty te różnią się w zależności od kraju.

Struktura kosztów produkcji energii jądrowej, podobnie jak energii słonecznej i wiatrowej, jest zdominowana przez koszty stałe, odpowiadające początkowemu kapitałowi zainwestowanemu na budowę mocy wytwórczej. Raport Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)²⁶ z września 2015 potwierdził, że energia jądrowa jest zazwyczaj jednym z najniższych kosztów w odniesieniu do wszystkich środków produkcji energii elektrycznej, w tym technologii systemowych, opartych na paliwach kopalnych, takich jak gaz ziemny i węgiel we wszystkich badanych krajach. Dotyczy to przede wszystkim niskich stóp dyskontowych, które są regularnie wykorzystywane w ramach Zmian Klimatu. Potwierdza to, że energia jądrowa stanowi konkurencyjną niskoemisyjną opcję wytwarzania energii, dostępną na dużą skalę.

Co więcej, ze względu na to, że energetyką jądrową można zarządzać i sterować, jej „koszty systemowe” (wynikające głównie z inwestycji wymaganych do szczytowej produkcji, przesyłu i dystrybucji, aby zapewnić niezawodne dostawy energii elektrycznej) pozostają na niskim poziomie, przyczynia

niając się do przystępnej ceny detalicznej energii elektrycznej. W sumie, jej konkurencyjność jest uznawana za jedną z najlepszych w nadchodzących dekadach, pokazując, że szybki rozwój energetyki jądrowej w Azji najprawdopodobniej wskaże drogę rozwiązań pozostałym głównym regionom świata.

Energia jądrowa umożliwia zmniejszenie emisji CO₂ i przyczynia się do rozwoju ekonomicznego i przemysłowego.

Inwestycje w energetykę jądrową są motorem rozwoju regionów i krajów, w których budowane są obiekty jądrowe, począwszy od projektów pod klucz - do projektów o większej samowystarczalności pod kątem technologicznym.

Inwestycje jądrowe bezpośrednio tworzą miejsca pracy dla specjalistów z wysokimi kwalifikacjami, nie tylko związane z eksploatacją reaktora jądrowego i jego utrzymaniem. Praca dotyczy dziedzin takich jak: inżynieria, budowa, projektowanie, produkcja, regulacja, przepisy, administracja, finanse, ubezpieczenia, badania, górnictwo, transport, promieniowanie, środowisko i ochrona radiologiczna, a także komunikacja. Wprowadzenie energetyki jądrowej wzmacnia również poziom edukacji w szerszej populacji, gdyż wszystkie stanowiska pracy wymagają wysokiego poziomu wiedzy z zakresu nauk podstawowych.

Jak wynika z koreańskich doświadczeń²⁷ udokumentowanych przez MAEA, budowa elektrowni jądrowej wymaga, aby istniał silny krajowy sektor budowlany; sektor średnich i ciężkich produktów, w tym cementu, stali, maszyn i urządzeń oraz chemikaliów; a także, aby istniały kompetencje w świadczeniu innych usług w obszarach takich jak inżynieria lądowa i wodna, kontrola zapewnienia jakości i testowanie. Przemysł krajowy stopniowo staje się głównym dostawcą dla programu energetyki jądrowej dlatego, że producenci rozszerzają swe linie produkcyjne, aby uwzględniły i obejmowały one projekty jądrowe i normy tego sektora.

Na koniec, oprócz rezultatu w postaci tworzenia lokalnego przemysłu jądrowego, energia jądrowa ma pozytywny wpływ na poziomie makroekonomicznym, dostarczając pewną i przystępną cenowo energię elektryczną całej gospodarce.

W opinii MAEA²⁸, liczne badania wykazały związek pomiędzy inwestycjami w sektorze jądrowym a wzrostem gospodarczym.

członkowie inicjatywy „Energia Jądrowa na rzecz Klimatu”

Powyższy tekst stanowi tłumaczenie wystąpienia na Konferencji Mądralin-2015, Warszawa, 24-25 listopad 2015.

Artykuł tłumaczyła Iwona Bereda-Zygmunt

Przypisy

1. Piąte sprawozdanie z oceny przygotowane przez IPCC (2013-2015) - Fifth Assessment Report, IPCC (2013-2015) http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_ALL_FINAL.pdf
2. Energy Technology Perspectives 2014, IEA http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnology-Perspectives_ES.pdf
3. Piąte sprawozdanie z oceny przygotowane przez IPCC (2013-2015) - Fifth Assessment Report, IPCC (2013-2015) https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
4. Piąte sprawozdanie z oceny przygotowane przez IPCC (2013-2015) - Fifth Assessment Report, IPCC (2013-2015) http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf
5. Energy Technology Perspectives 2014, IEA http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnology-Perspectives_ES.pdf
6. Global Carbon Project <http://www.globalcarbonproject.org/carbonbudget/14/hl-compact.htm>
7. Energy Technology Perspectives 2014, IEA http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnology-Perspectives_ES.pdf
8. United Nations (2015) http://esa.un.org/wpp/documentation/pdf/wpp2012_press_release.pdf
9. Technology Roadmap 2014, IEA <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/technology-roadmap-nuclear-energy-1.html>
10. World Bank (2013) <http://documents.banquemoniale.org/curated/fr/2013/01/17747859/global-tracking-framework-vol-1-3-resume-general>
11. Energy Technology Perspectives 2014, IEA http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/EnergyTechnology-Perspectives_ES.pdf
12. Scenariusz 2DS Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA)
13. Climate Change and Nuclear Power Report – AIEA (2014) Median value <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-issues-2014-edition-climate-change-and-nuclear-power>
14. Piąte sprawozdanie z oceny przygotowane przez IPCC (2013-2015) - Fifth Assessment Report - IPCC (2013-2015) https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-10-3.html
15. Szacuje się, że łącznie 2 900 mld ton maksymalnie może być emitowane od czasów sprzed rewolucji przemysłowej do osiągnięcia wzrostu o 2°C, z czego 70% (2000 mld ton) zostało już uwolnione do atmosfery, ze znacznym przyspieszeniem w ostatnich 40 latach. Zgodnie z danymi IPCC: <http://www.carbonbrief.org/blog/2014/11/six-years-worth-of-current-emissions-would-blow-the-carbon-bdget-for-1-point-5-degrees/>
16. The California Energy Almanac <http://energyalmanac.ca.gov/naturalgas/overview.html>
17. International Status and Prospects for Nuclear Power – IEA (2014) http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC58/GC58InfDocuments/English/gc58inf-6_en.pdf
18. World Energy Outlook – IEA (2014) <http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2014/november/signs-of-stress-must-not-be-ignored-iea-warns-in-its-new-world-energy-outlook.html>
19. Eurostat - (2014)
20. Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD)
21. IAEA 2014 http://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC58/GC58InfDocuments/English/gc58inf-6_en.pdf
22. Scenariusz 2DS Międzynarodowej Agencji Energetycznej (IEA)
23. World Energy Investment Outlook, IEA, (2014) <http://www.iea.org/newsroomandevents/pressreleases/2014/june/name,72035,en.html>
24. Washington Post (2013) http://www.columbia.edu/~jeh1/NuclearPowerInClimateBattle.WashingtonPost_2013.11.03.pdf
25. Uranium 2014: Resources, Production and Demand – OECD-NEA <http://www.oecd-neo.org/ndd/pubs/2014/7209-uranium-2014.pdf>
26. Przewidywane koszty wytwarzania energii elektrycznej - Projected Costs of Generating Electricity - OECD-NEA (2015) <https://www.oecd-neo.org/ndd/egc/2015/>
27. Technologie jądrowe i rozwój gospodarczy w Republice Korei - Nuclear Technology and Economic Development in the Republic of Korea – MAEA (2006) <https://www.iaea.org/sites/default/files/rok0809.pdf>
28. Climate Change and Nuclear Power – MAEA (2015) <https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-report-highlights-nuclear-power%E2%80%99s-role-combating-climate-change>

REMONTY KAPITALNE W KANADYJSKICH ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Canadian Nuclear Power Plant refurbishment

Dariusz Witold Kulczyński

Tematem artykułu jest przedłużanie okresu eksploatacji starzejących się elektrowni jądrowych. Omówiono szczegółowo remonty kapitalne w kanadyjskich elektrowniach jądrowych typu CANDU (PHWR). Zasygnalizowano także zagadnienia związane z wydłużaniem okresu użytkowania reaktorów lekkowodnych, które były tematem dyskusji konferencji Nuclear Power Plant Life Management & Extension w Paryżu w 2015 r.

The article tackles various aspects of life extension of aging nuclear power plants. It describes in detail mid-life refurbishment of Canadian nuclear power plants (CANDU - PHWR). Some aspects of light water reactors life extension discussed at the Nuclear Power Plant Life Management & Extension 2015 in Paris were also mentioned.

Słowa kluczowe: Zapotrzebowanie na energię jądrową, emisja CO₂, przedłużanie [eksploatacji], remonty [kapitalne], CANDU, PHWR, PWR, makieta [reaktora], końcówki [kanałów], kolektory, rury [odpływowe], rury [dopływowe],

Key words: Nuclear power share in power demand, CO₂ emissions, life extension, nuclear [power plant] refurbishment, CANDU, PHWR, PWR, [reactor] mock-up, end [fittings], reactor channels, headers, feeders.

* Słowniczek skrótów znajduje się na końcu artykułu

W ciągu 20 lat poprzedzających awarię w elektrowni Fukushima Daiichi, roczny wzrost energii elektrycznej produkowanej w elektrowniach jądrowych wynosił zaledwie 0,7% podczas gdy zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrastało o 2% rocznie. Po Tsunami i związanej z nim awarii, odstawiono szereg bloków w Japonii i w Niemczech co spowodowało spadek produkcji energetyki jądrowej o 4,3% w stosunku do poprzedniego roku 2011 i o 6,9% w roku 2012 [1]. Było to największą zanotowaną redukcją tego źródła wytwarzania elektryczności. W skali światowej, energia elektryczna wytwarzana przez energetykę jądrową wynosiła 17% w 1993 r., a w 2012 r. zaledwie 10,4%. Udział energetyki jądrowej w całkowitym, światowym zapotrzebowaniu (na wszystkie rodzaje) energii wyniósł w 2012 r. tylko 4,5%, najmniej od 1984 r.

Natomiast w wielu jurysdykcjach energetyka jądrowa nadal odgrywa rolę dominującą. Liderem jest tu bezwzględnie Francja, gdzie 75% zapotrzebowania na energię elektryczną pochodzi z elektrowni jądrowych. Największa (pod względem ludności) prowincja kanadyjska Ontario mogłaby osiągnąć podobny wynik, ponieważ udział hydroenergetyki wynosi tu 24,1%. Niestety na skutek kosztownych inwestycji w tzw. „odnawialne źródła energii” (7,1%) udział energetyki jądrowej w Ontario wynosi około 60%. Wiatrak energetyczne i ogniwa słoneczne posiadają bardzo niski współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej i są wspierane przez bloki opalane gazem ziemnym, których udział w zaspokajaniu zapotrzebowania mocy w Ontario wynosi 8,7%.

Stosunek do energetyki jądrowej w jurysdykcjach szczytujących się ograniczaniem emisji CO₂ nie jest automatycznie przyjazny. Tak we Francji, jak i w Ontario planowane jest zredukowanie udziału elektrowni jądrowych do około 50%. Francja ma osiągnąć tę redukcję w ciągu 10 lat, Ontario znacznie wcześniej. Źródłem tych planów jest ograniczenie lub wstrzymanie kosztownych inwestycji co w połączeniu z koniecznością wycofania z eksploatacji wysłużonych elektrowni jądrowych powoduje ich mniejszy udział w zaspokajaniu zapotrzebowania sieci.

W chwili obecnej remonty kapitalne reaktorów przeprowadza się tylko w elektrowniach systemu CANDU (PHWR). Baza projektowa i regulacyjna (zezwoleń) takich elektrowni uwzględniają wymianę części ciśnieniowej reaktorów w połowie okresu eksploatacji. Dyskusja nad planowym wydłużaniem życia istniejących reaktorów lekkowodnych dopiero się rozpoczyna. Obecnie ich remonty przeprowadza się w koordynacji z kampanią paliwową. W reaktorach ciśnieniowych PWR można w szczególnych przypadkach zainstalować nową głowicę, czyli wieko pionowego reaktora z aparaturą sterowania mocy natomiast samego zbiornika ciśnieniowego do tej pory nikt nie starał się wymienić.

Niektóre bloki PWR w USA odstawiano na wiele lat lub przerywano budowę z przyczyn ekonomicznych. Na przykład firma TVA (Tennessee Valley Authority) w 1985 r. wstrzymała budowę bloku 2 w elektrowni Watts Bar. Dopiero w 2007 r. TVA poinformowała federalny dozór jądrowy NRC (Nuclear Regulatory Commission) o wznowieniu budowy. Budowa, testy, i załadunek paliwa zostały zakończone w 2015 r., a więc 30 lat od wstrzymania budowy. Watts Bar 2 będzie pierwszym blokiem jądrowym uruchomionym w USA w XXI wieku. Projekt Watts Bar 2 został oczywiście zmodyfikowany według wymogów międzynarodowej inicjatywy przeglądu i modernizacji (WANO Post-Fukushima Review), o której już pisano na tych łamach. Tym nie mniej jest to technologia jądrowa sprzed trzydziestu lat. Na terenie Stanów Zjednoczonych trwają jednak mniej zaawansowane budowy kilku najnowocześniejszych elektrowni jądrowych np. Vogtle 3, 4 i VC Summer 2, 3 [6].

Niestety w Kanadzie plany nowych bloków w elektrowni Darlington, a także w Bruce zostały odłożone na półkę i zapewne miną dziesięciolecie zanim do tych projektów się powróci.

Obecny 60-cio procentowy udział energetyki jądrowej w prowincji Ontario jest tak wysoki z powodu drastycznego obniżenia zużycia elektryczności po kryzysie finansowym w 2008 r. oraz wskutek przyłączenia do sieci po remoncie kapitalnym dwóch bloków jądrowych w elektrowni Bruce A (Bruce-1

i Bruce-2). Stanowiło to w sumie prawie 1,700 MW. Udział energii jądrowej w zapotrzebowaniu na elektryczność Prowincji Ontario znacznie niebawem spadać, gdyż do remontu kapitalnego szykuje się elektrownia Darlington (4 x 930 MWe). Na razie Rząd Prowincji Ontario wyraził zgodę na remont państwowej elektrowni Darlington (OPG - Ontario Power Generation), ale w następnej kolejności idą bloki w elektrowni Bruce B (4 x 840 MW brutto). Od 2001 r. elektrownie Bruce A i Bruce B są eksploatowane przez prywatną firmę Bruce Power.

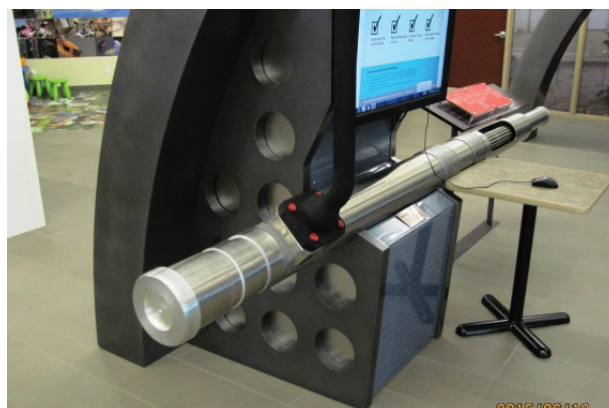
W przyszłym roku do remontu kapitalnego odstawiony zostanie blok 2 elektrowni Darlington o mocy brutto 930 MW(e), a w kolejnych latach bloki 1, 3 i 4. Jednorazowo remont może się odbywać na dwóch blokach, których harmonogramy będą się zazębiać. Bloki w Darlington będą odstawiane do remontu w tej kolejności w jakiej zostały uruchomione na początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku. Remont wszystkich czterech bloków jest planowany na lata 2016–2028. Dlatego firma OPG złożyła podanie o 13-letnie zezwolenie eksploatacyjne - licencję PROL (Power Reactor Operating License). W listopadzie 2015 r., regulator przemysłu atomowego, Kanadyjski Urząd Dozoru Jądrowego (Canadian Nuclear Safety Commission CNSC) rozpoczął przesłuchania publiczne w sprawie tego 13-letniego zezwolenia wśród ludności zamieszkalej w pobliżu elektrowni Darlington.

W reaktorach kanadyjskich, poziome rury ciśnieniowe (Pressure Tubes) są wykonane ze stopu cyrkonu i niobu (Zr-2,5% Nb). Z konieczności są one cienkościenne aby przepuszczać neutrony do obszaru moderatora i z powrotem. Geometria, strumień neutronowy, temperatura i ciśnienie powodują, że rury w reaktorach CANDU wydłużają się i maksymalny okres ich pracy wynosi od 25 do 30 lat (zależnie od mocy i modelu reaktora). Dobrze prowadzona eksploatacja powinna wykluczyć powstawanie pęknięć i korozji rur (stress corrosion cracking) co wymagałoby wcześniejszej wymiany rur i duże straty ekonomiczne związane z przedwczesnym odstawieniem reaktora, którego rury ciśnieniowe są projektowane na 30 lat normalnej eksploatacji. Odpowiednie utrzymanie właściwych parametrów chemicznych w pierwotnym i wtórnym układzie chłodzenia zapewnia trwałość wytwornic pary (Steam Generators), które powinny służyć przez cały 60-letni okres eksploatacji reaktora CANDU. Idealną sytuacją jest remont kapitalny, w którym wymienia się jedynie rury ciśnieniowe, kolektory i rury dopływowe i odpływowe z kolektorów do kanałów reaktora (Pressure Tube, Header and Feeder replacement).

Taki zakres remontu minimalizuje koszt i skracca całkowity czas odstawienia bloku. Podczas remontu kapitalnego można również wymienić niskociśnieniowe rury moderatora (Calandria Tubes). Dotyczy to reaktorów nowszych, bez zbiorników zrzutowych moderatora. Chłodny moderator pozostaje cały czas w Calandrii, również po wyłączeniu reaktora, co w przypadku poważnej awarii zapewnia, krótkoterminowe, dodatkowe chłodzenie rdzenia w sytuacji przerwy w działaniu długoterminowego chłodzenia awaryjnego.

Jeżeli jednak zakres remontu kapitalnego bardzo się rozszerza, np. wymaga wymiany wytwornic pary (Steam Generators) może zostać podjęta decyzja o zaniechaniu remontu kapitalnego i szybszym wycofaniu bloku z eksploatacji, szczególnie jeśli jest to starsza jednostka o niezbyt dużej mocy (przykład elektrowni jądrowej Pickering o mocy bloku 540 MWe).

Z przyczyn ekonomicznych remont kapitalny może być odroczony nawet o kilkanaście lat po odstawieniu bloku i usunięciu paliwa z rdzenia reaktora (przykład elektrowni Bruce A o mocy bloku 805 MWe). Podczas remontu kapitalnego reaktora typu CANDU przeprowadza się również szereg prac modernizacyjnych innych systemów elektrowni, których zakres jest jednak minimalizowany ze względu na koszt.



Fot. 1. Fragment kanału reaktora – z prawej wiązka paliwowa; Centrum Informacji el. Darlington

Photo 1. Reactor channel, on the right: Fuel Bundle, Darlington INFO Centre



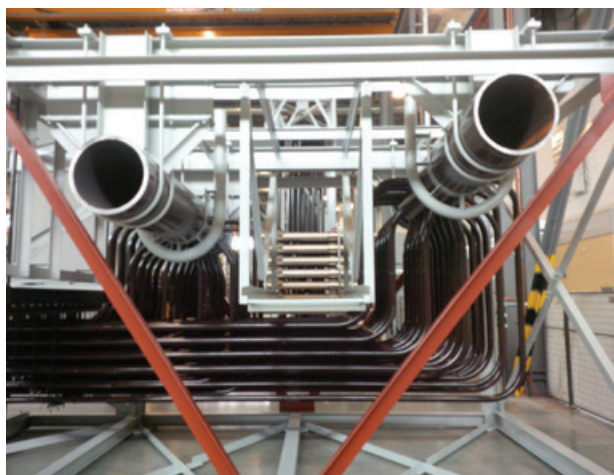
Fot. 2. Makieta Reaktora 2 w elektrowni Darlington (D-2); końcówki kanałów i rury odpływu/dopływu

Photo 2. Reactor mock-up, end fittings & feeders

Planowanie remontu kapitalnego jest wieloletnim i skomplikowanym przedsięwzięciem, które między innymi ustala procentowy udział poszczególnych systemów w pracach remontowych. W przypadku elektrowni Darlington 10% wysiłku (sił i środków) przypadło na projekty wstępne (planowanie, przygotowanie placu budowy, budynek biur i warsztatów z makieta rdzenia reaktora w skali 1:1). Wymiana rur ciśnieniowych, rur niskociśnieniowych przestrzeni moderatora (Calandria Tubes), rur dopływowych i odpływowych z kolektorów do kanałów reaktora to aż 60% prac remontowych. Na usunięcie wiązek paliwowych z kanałów reaktora oraz na remont systemów wymiany paliwa (maszyn przeładowniczych, torów, instalacji elektrycznej, komputerów sterowniczych itd.) przypada 10% sił i środków.

Na przegląd i remont turbogeneratorów oraz wymianę stowarzyszonych regulatorów analogowych na cyfrowe przeznaczono 12%. Przegląd, czyszczenie mechaniczne i usuwanie wodą pod ciśnieniem osadu strony wtórnej wytwornic pary to tylko 4%. Również 4% sił i środków przypadnie na remont lub wymianę elementów pozostałych systemów elektrycznych (takich jak układy gospodarowania ciężką wodą, systemy elektryczne i komputery sterownicze bloków) [2].

Elektrownie wieloblokowe systemu CANDU mają osłony bezpieczeństwa reaktorów i systemów wymiany paliwa jądrowego (Containment) połączone wieloprzekrojowymi kanałami wentylacyjnymi z próżniową wieżą lokalizacji awarii i skażeń (Vacuum Building). Zezwolenia eksploatacji (operating licenses) wymagają, żeby co 10 lat odstawić wieżę próżniową w celu przeprowadzenia inspekcji i ewentualnych napraw. Wiąże się to z koniecznością wyłączenia z ruchu wszystkich bloków elektrowni. Ze względu na wieloletni remont kapitalny elektrowni jądrowej Darlington, firma OPG wystąpiła o wydłużenie okresu przeglądu wieży do dwunastu lat. Wiązało się z tym ilościowe oszacowanie ryzyka przedstawione w urzędzie regulacyjnym CNSC. Na jesieni 2015 r. wszystkie bloki elektrowni Darlington zostały wyłączone w celu przeprowadzenia przeglądu wieży próżniowej (Vacuum Building Outage). Po zakończeniu trwających kilka tygodni prac, bloki zostały uruchomione i zsynchronizowane z siecią. Blok 2 (D-2) zostanie ponownie odstawiony i przygotowany do remontu kapitalnego w październiku 2016 r.



Fot. 3. Makieta Reaktora D-2; kolektory i rury odpływowe i dopływowe
Photo 3. Darlington Unit 2 reactor mock-up: headers and feeders



Fot. 4. Końcówki kanałów
Photo 4. Reactor channel end fittings

Remont kapitalny bloku 2 rozpocznie się od usunięcia wszystkich 6240 wiązek paliwowych do basenów składowania paliwa (Spent Fuel Bays). Posłużą do tego te same maszyny przeładownicze (inaczej: roboty wymiany paliwa: Fuelling Machines), których używa się podczas normalnego ruchu bloku. Maszyna taka posiada magazynek (podobny w koncepcji do rewolweru Colta) i tłok do wypychania wiązek do reaktora. Reaktory CANDU budowane są na osi Wschód - Zachód, w związku z czym istnieją dwie maszyny wymiany paliwa wschodnia i zachodnia, które podłączają się do tego samego kanału z obu stron, każda wyciąga korek i wkładkę ekranującą i jedna wypycha dwie wiązki, a druga je odbiera. Następnie magazynki obu maszyn obracają się i proces się powtarza. W każdym kanale magazynka (Fuelling Machine Head Magazine) jest dostatecznie dużo miejsca na umieszczenie dwóch wiązek paliwowych. Głowice maszyn paliwowych są naczyniem ciśnieniowym zdolnym do utrzymywania ciśnienia kilkunastu MPa (nominalna wartość ciśnienia kolektora wylotowego reaktorów w elektrowni jądrowej Darlington wynosi 10 MPa). Znajdujące się w magazynku wiązki paliwa jądrowego są przez cały czas chłodzone ciężką wodą D₂O pod ciśnieniem aż do usunięcia ich do basenu zużytego paliwa (Spent Fuel Bay), gdzie rolę chłodziwa przejmuje zdemineralizowana lekka woda H₂O. Ze znajdującego się w ruchu reaktora bloku 2 w Darlington usuwa się dziennie średnio 17 wiązek (zawsze liczba wymienianych wiązek jest parzysta). Podczas normalnej eksploatacji każdy reaktor produkuje około 340 kg wypalonego paliwa dziennie, którego ciepło rozpadu musi być odbierane w basenie zużytego paliwa. Podczas usuwania całego paliwa z reaktora wydajność systemu chłodzenia zużytego paliwa musi być wielokrotnie wyższa co uwzględnia się w przygotowaniach do remontu kapitalnego (modyfikacje). Wynika to bezpośrednio z ilości wiązek paliwowych odprowadzanych do basenów: średnio 17 dziennie podczas normalnej eksploatacji i 6240 wiązek w ciągu kilku tygodni przy remoncie kapitalnym reaktora.



Fot. 5. Końcówki rur ciśnieniowych i rury odpływowe i dopływowe
Photo 5. End fittings and feeders



Fot. 6. Makieta D-2; Płaszczyzna graniczna reaktora, końcówki kanałów i rury odpływu/dopływu

Photo 6. Darlington Unit 2 reactor mock-up; reactor face, end fittings, feeders



Fot. 7. Autor artykułu przed wejściem do pomieszczenia makiety reaktora D-2

Photo 7. The author in front of the D-2 mock-up area entrance

Roboty wymiany paliwa są sterowane komputerowo. Nota bene, wprowadzenie komputerów do systemu wymiany paliwa CANDU w 1967 r. stanowiło pierwsze zastosowanie komputerów sterowniczych w energetyce jądrowej. Podczas normalnej eksploatacji reżim pracy maszyn wymiany paliwa jest zupełnie inny niż przy usuwaniu całego paliwa z bloku przed remontem kapitalnym lub przy wycofywaniu bloku z eksploatacji. Wymaga to innego oprogramowania komputerów. Na potrzeby elektrowni Darlington nowe programy i wymagany sprzęt dostarcza firma GE-Hitachi (dawniej: Canadian General Electric), której oddział mieści się w Peterborough, Ontario, około 100 km na północny wschód od elektrowni jądrowej.

W każdym z 480 kanałów reaktora D-2 znajduje się 13 wiązek paliwowych (fuel bundles). Każda wiązka ma pół metra długości i waży około 20 kg. Wokół 37 elementów paliwowych, zwanych ze względu na podłużny kształt „ołówkami” (pencils) przepływa ciężka woda obiegu pierwotnego chłodzenia. Do usuwania paliwa służą metalowe, ażurowe walce (dummy fuel bundles) identyczne gabarytowo jak wiązki paliwowe, ale oczywiście pozbawione paliwa jądrowego. Niektóre z tych „sztucznych wiązek” w kanałach mają nieco inny kształt (w przybliżeniu stożka ściętego) i ich zadaniem jest tworzenie dodatkowego oporu przepływu. Chodzi o to, żeby przez sztuczne wiązki przepływała ta sama ilość chłodziwa co przez trzynaście normalnych wiązek paliwowych w kanale. Po usunięciu całego paliwa z reaktora następuje wypompowanie ciężkiej wody z pierwotnego układu chłodzenia (PHT- Primary Heat Transport System) oraz z układu moderatora. Ponieważ zawartość D_2O w pierwotnym układzie chłodzenia (heat transport system D_2O isotopic) wynosi 97–98%, a moderatora powyżej 99,75% D_2O , płyny z tych systemów są kierowane do osobnych zbiorników. Wymaga to dodatkowych modyfikacji systemów gospodarki ciężką wodą (Heavy Water Management Systems), które w elektrowni jądrowej Darlington współpracują z instalacją usuwania trytu. Do chwili rozpoczęcia wymiany kanałów reaktora CANDU należy więc usunąć paliwo, ciężką wodę, a także dwutlenek węgla z przestrzeni pierścieniowej (Annulus Gas System). CO_2 wypełnia przestrzeń pomiędzy rurami ciśnieniowymi układu chłodzenia pierwotnego i rurami Calandrii (czyli obszarem moderatora). Podczas normalnej eksploatacji higrometry badają wilgotność dwutlenku węgla w celu wczesnego wykrycia potencjalnej nieszczelności.

Wymiana rur ciśnieniowych, rur dopływowych i odpływowych z kolektorów do kanałów reaktora (Pressure Tubes and Feeders), wreszcie niskociśnieniowych rur ograniczających przestrzeń moderatora (Calandria Tubes) jest w wysokim stopniu zrobotyzowana. Roboty przemysłowe zakleszczają się na kolejnych kanałach reaktora po czym wycinają i wyciągają odpowiednie elementy. Jest to nie tylko szybsze niż przeprowadzanie tych prac przez mechaników, ale znakomicie ogranicza dawkę promieniowania jaką otrzymuje personel remontowy. Przed zastosowaniem robotów do wymiany rur ciśnieniowych, prace wykonywano za pomocą narzędzi przy użyciu skomplikowanych systemów osłon w celu zabezpieczenia przed promieniowaniem. Roboty specjalistyczne do prac remontowych produkuje kilka firm kanadyjskich, między innymi firma Promotion Nuclear, której prezesem jest mgr inż. Mariusz Żimny, absolwent Politechniki Wrocławskiej. Moc reaktorów CANDU jest regulowana przez dwa komputery – aktualnie sterujący blokiem komputer podstawowy i drugi, pozostający w tzw. stanie „gorącej rezerwy” (hot standby). Jeśli podstawowy komputer blokowy się zawiesi, jego funkcje przejmuje komputer rezerwowy. Jeśli oba się zawieszą następuje automatyczne odstawienie bloku. Program regulacji mocy reaktora zmienia poziom lekkiej wody (czyli negatywnej reaktywności) w 14 zbiornikach wodnych (Liquid Zone Control) i reaguje na zmiany strumienia neutronów. Bez sprawnych komputerów blokowych praca reaktorów CANDU nie jest możliwa. Uruchomiona w 1990 r. elektrownia jądrowa Darlington używa komputerów PDP-11 konstrukcji nieistniejącej już od szeregu lat firmy DEC (Digital Equipment Corporation). Te minikomputery z lat siedemdziesiątych są stosunkowo dobrze znane starszej genera-

cji polskich informatyków ponieważ były masowo stosowane w Hucie Katowice. Jeżeli firma nie istnieje to zakup części zamiennych staje się z biegiem lat niemożliwy. Z kolei całkowita zmiana oprogramowania komputerów blokowych na potrzeby współczesnej platformy fizycznej (contemporary computer hardware) jest zadaniem zbyt kosztownym i ryzykownym aby skorzystać z niego w przypadku remontu kapitalnego elektrowni CANDU (mid-life refurbishment). W elektrowni jądrowej Darlington wybrano zatem rozwiązanie wymiany procesorów i pamięci komputerów blokowych z zastosowaniem rozwiązań technologicznych końca pierwszej dekady XXI wieku. Jednocześnie, zastosowana elektronika (hardware) zachowuje się funkcjonalnie identycznie do systemu PDP-11 z lat siedemdziesiątych (original hardware emulation). Dzięki temu nie jest konieczna zmiana oprogramowania komputerów blokowych.

W podsumowaniu: remont kapitalny bloku systemu CANDU (PHWR) polega na usunięciu paliwa, chłodziwa, wymiany kanałów reaktora, rur i kolektorów, czyszczenia wytwornic pary, wymiany zużytych maszyn przeładowniczych i ich układów wspomagających, modernizacji lub wymiany komputerów sterowniczych bloków i komputerów robotów wymiany paliwa. Dodatkowo, korzystając z długiego okresu odstawienia bloku wymienia się inne zużyte elementy, także w układach konwencjonalnych. Po uzyskaniu nowego zezwolenia na eksploatację następuje załadunek świeżego paliwa, kompensacja moderatora (Bor, Gadolin) i rozruch.

Remont kapitalny reaktorów CANDU jest zadaniem pochłaniającym miliardy dolarów i od jego powodzenia zależy los firm eksploatujących elektrownie jądrowe. O sukcesie decyduje szybkość, terminowość i jakość prac remontowych. Dlatego sprawą podstawowej wagi jest przećwiczenie większości czynności remontowych na makiecie czyli zanim rozpoczną się czynności remontowe w bunkrach reaktorów w obecności promieniowania jonizującego. Już 31 marca 2014 r. uruchomiono centrum treningowe i oddano do użytku makietę reaktora D-2 (Darlington Energy Complex Reactor Mockup Training Facility). Od początku 2015 r. makiety reaktora używa się do sprawdzania sprzętu, w tym robotów i do szkolenia mechaników i kierowników ekip remontowych.

Wysoki koszt budowy najnowocześniejszych elektrowni jądrowych skłania także firmy energetyczne poza Kanadą do przyjrzenia się metodom przedłużania życia znajdujących się obecnie w ruchu bloków jądrowych. Na początku listopada 2015 r., w Paryżu odbyła się międzynarodowa konferencja na temat planowania i przedłużania okresu eksploatacji reaktorów i związanymi z tym obawami społeczeństwa. Dyskusja objęła następujące zagadnienia: oszacowanie ryzyka związanego ze starzejącymi się blokami jądrowymi, wyzwania stawiane przez remonty bieżące, przedłużanie zezwoleń (licencji) na eksploatację, zasady finansowania wydłużania życia bloków jądrowych, szkolenie kadr w przemyśle jądrowym i wreszcie udział energetyki jądrowej w zaspokajaniu zapotrzebowania sieci państw członkowskich Unii Europejskiej.

Dariusz Witold Kulczyński, P. Eng.

* Słowniczek skrótów

CANDU – Canada-Deuterium – Uranium (reaktor ciśnieniowy ciężkowodny produkcji kanadyjskiej używający jako paliwa uranu naturalnego), to samo co PHWR (Pressurized Heavy Water Reactor)

PWR – Pressurized Water Reactor (reaktor ciśnieniowy lekkowodny używający jako paliwa uranu wzbogaconego)

TVA – Tennessee Valley Authority, duża amerykańska firma energetyczna eksploatująca reaktory PWR

WANO – World Association of Nuclear Operators – Światowe Stowarzyszenie Operatorów Elektrowni Jądrowych

OPG – Ontario Power Generation Inc. duża kanadyjska firma energetyczna eksploatująca reaktory PHWR (CANDU)

CNSC – Canadian Nuclear Safety Commission – Kanadyjska Komisja Bezpieczeństwa Jądrowego – kanadyjski urząd regulacyjny przemysłu atomowego - (w nomenklaturze polskiej nazywany także- Kanadyjskim Urzędem Dozoru Jądrowego)

PHT – Primary Heat Transport System – pierwotny układ chłodzenia reaktora

DEC – Digital Equipment Corporation duża amerykańska firma komputerowa (1957 do 1998). Została wykupiona przez firmę Compaq, która w 2002 roku połączyła się z firmą Hewlett-Packard. Część DEC zajmująca się kompilatorami została przejęta przez Intel.

References:

- [1] The Nuclear Power Sector dim prospects (by National Bank Financial, 2013); NBF_GP13M16_E_.pdf
- [2] Darlington Refurbishment Newsletter, Spring 2015; Ontario Power Generation
- [3] DarlingtonRefurb_PerformanceReport_July2014.pdf
- [4] <http://www.promotion.com/nuclear-division/reactor-custom-tooling/2015>
- [5] Nuclear Power Plant Life Management & Extension 2015: <http://v11.vuturvevx.com/exchange-sites/Whitmore%20Group/59/events-pdfs-eu/en11-mktg-agenda.pdf>
- [6] Nuclear Power in the USA <http://world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-T-Z/USA--Nuclear-Power/2015>

NOTKA O AUTORZE:

mgr inż. Dariusz Witold Kulczyński jest absolwentem VI L.O. im. Tadeusza Reytana. Ukończył Wydział Elektryczny Politechniki Warszawskiej w 1977 r. Od 1981 r. przebywa w Kanadzie, gdzie przez 33 lata pracował w pionie technicznym elektrowni jądrowych z ciężkowodnymi reaktorami CANDU (przez 6 lat w szkoleniu i w elektrowni jądrowej NPD w Rolphton, a przez kolejne 27 lat w elektrowni jądrowej Darlington: 4 x 930 MWe). O energetyce jądrowej pisał w artykułach opublikowanych w „Wiadomościach Elektrotechnicznych”, „Gazecie Wyborczej”, „Postępiech Techniki Jądrowej”, „Biuletynie Radiologicznym”, witrynie CIRE i w „Nuclear Engineering International” (UK). Autor artykułu należy do osób czynnie włączających się w dyskusję o energetyce jądrowej w Polsce. Wygłosił w Polsce szereg wykładów; był m.in. prelegentem na konferencji NOT „Rozwój energetyki atomowej w Polsce” w grudniu 2007r. i na II Kongresie Energetyki Jądrowej na Politechnice Warszawskiej 22-24 maja, 2012. Dwukrotnie wygłaszał także referaty na Konferencjach Gospodarczych Polonii (2004 i 2012). Jest autorem przeglądu Programu Polskiej Energetyki Jądrowej dla Nuclear Engineering International Magazine (artykuł „Planning for a Nuclear Poland” NEI, April, 2014).

POLIMEROWE KOMPOZYTY

Czy można zastąpić ołów w ochronie radiologicznej?

POLYMER COMPOSITES

Is it possible to replace lead in radiological protection?

Maria Rajkiewicz, Wojciech Głuszewski

W związku z Programem Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) krajowe firmy z branży przetwórstwa tworzyw sztucznych wykazują zainteresowanie polimerowymi kompozytami barierowymi dla promieniowań jonizujących. Temat nie jest nowy. Na świecie jest obecnie wiele komercyjnych rozwiązań tego typu. Przykładowo do Polskiego Towarzystwa Nukleonowego (PTN) wstąpił pod koniec tego roku dyrektor inżynierskiej firmy z Berlina (ASM), która oferuje tworzywa polimerowe dla energetyki jądrowej i medycyny nuklearnej. Również polskie instytuty badawcze mają duże doświadczenie w zakresie radiacyjnej modyfikacji tworzyw polimerowych, oraz liczące się na świecie przemysłowe instalacje radiacyjne. Krajowy przemysł może liczyć na naukową pomoc przy wdrażaniu nowych rodzajów osłon przed promieniowaniem. Temat ma również aspekt ekologiczny, związany z możliwością ograniczenia zużycia ołowiu. Jako zamienniki proponuje się obecnie: bizmut, wolfram, żelazo oraz baryt (siarczan baru).

In connection with the Polish Nuclear Energy Programme (PPEJ) national companies from the plastics processing industry are showing interest in polymer composites barrier for ionizing radiation. The subject is not new. At sunrise is at present a number of commercial solutions of this type. For example, the Polish Nuclear Society (PTN) ascended the end of this year, the director of engineering companies from Berlin (ASM), which provides polymer materials for nuclear energy and nuclear medicine. Polish research institutes also have extensive experience in the field of radiation modification of polymers and developments of global industrial installations radiation. National industry can count on scientific assistance in the implementation of new types of radiation shields. Subject is also the environmental aspect associated with the ability to reduce the amount of lead. As alternatives are now proposed: bismuth, tungsten, iron and barite (barium sulfate).

Słowa kluczowe: ochrona radiologiczna, kompozyty polimerowe, ołów, bizmut

Key words: radiation protection, polymer composites, lead, bismuth

Ołów

Tradycyjnie w ochronie przed fotonowym promieniowaniem jonizującym (gamma, rentgenowskim, hamowania) stosuje się ołów. Dzięki dużej gęstości elektronowej idealnie nadaje się on na materiały osłonowe. Warto wyjaśnić, że w oddziaływaniu wysoko energetycznego promieniowania elektromagnetycznego z materią podstawową rolę odgrywiają trzy zjawiska: fotoelektryczne, efekt Comptona i tworzenia par (elektron i pozyton). Skuteczność rozpraszania promieniowania we wszystkich wymienionych zjawiskach rośnie z liczbą atomową napromieniowywanych pierwiastków. Inaczej mówiąc im cięższy pierwiastek tym skuteczniej chroni przed promieniowaniem jonizującym (z wyjątkiem neutronów). Wynikiem oddziaływania jonizującego promieniowania elektromagnetycznego są wtórne wiązki elektronów.

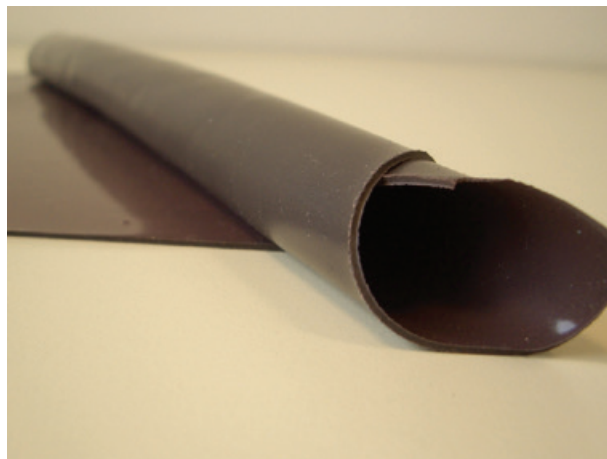
Metale ciężkie to pierwiastki o gęstości większej od 4,5 g/cm³. Z chemicznego punktu widzenia mają tendencję do oddawania elektronów w reakcjach chemicznych i tworzenia kationów. Do metali ciężkich zaliczamy m.in.: Cu, Co, Cr, Cd, Fe, Zn, Pb, Sn, Hg, Mn, Ni, Mo, V, W oraz niemetal Se. Niektóre z nich są niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania organizmów (np. mikroelementy: Cu, Zn, Ni, Cr), inne mają nieznaną rolę fizjologiczną (np. Cd, Hg, Pb, As). Metale ciężkie tej drugiej grupy są traktowane jako całkowicie zbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmów, wręcz zaburzające procesy życiowe. Są więc uważane za zanieczyszczenia ekosystemu.

Na liście toksycznych metali ciężkich znalazł się również ołów. Komisja Toksykologii środowiskowej PAN umieściła go na szóstym miejscu zagrożeń środowiskowych. Do najważniejszych należą zanieczyszczenia będące wynikiem działalności człowie-

ka – źródła antropogeniczne oraz naturalne. Problem w mniejszym stopniu dotyczy formy metalicznej ołowiu. Główne zagrożenie stanowią jego rozpuszczalne w wodzie związki chemiczne. Ołów znany jest od blisko 4500 lat. Grecy pozyskiwali go na dużą skalę już 550 lat p.n. e. Jednak dopiero Rzymianie zaczęli wykorzystywać ten metal na skalę przemysłową. Historycy dowodzą, że ołów przyczynił się do upadku Cesarstwa Rzymskiego. W tamtym czasie bardzo ceniono go, jako materiał na kielichy do wina. Uważano, że trunek w ołowianych pucharach lepiej smakuje. Dosyć szybko wyjaśniono tą zagadkę. Kwas octowy, który występuje w winie rozpuszcza ołów. Octan ołowiu (II) jest słodki (tzw. cukier nieorganiczny). Rzymianie odkryli te właściwości i jako pierwsi zaczęli produkować rodzaj słodzika i afrodyzjaku. Używali go ponoć dbający o linie Neron i Kaligula. Niestety stosowanie tego „suplementu diety” prowadziło po pewnym czasie do uszkodzenia ośrodkowego układu nerwowego. „Ołowiany cukier” jest śmiertelny w ilości około 50 mg. W mniejszych ilościach prowadzi między innymi do uszkodzenia mózgu. Tak, więc elita społeczeństwa rzymskiego, arystokracja, którą stać było na kosztowną ołowianą zastawę nieświadomie w dłuższej perspektywie czasu obniżała potencjał intelektualny. Na szczęście nie dotyczyło to pospółstwa. Należy jednak podkreślić, że mimo intensywnych współczesnych badań niektóre aspekty wpływu ołowiu na funkcjonowanie układu nerwowego pozostają niewyjaśnione. Niedostatecznie poznane są dokładne mechanizmy molekularne i biochemiczne bezpośredniego działania tego metalu i jego związków na centralny układ nerwowy.

Ogólnie uważa się jednak, że opisywane skutki ekspozycji na ołów powinny skłaniać do dalszej redukcji zawodowego i środowiskowego narażenia na ten metal, a istniejące rozbieżności do kontynuowania badań w tej dziedzinie.

Tak więc ołów zyskał zły public relations (PR) i jest obecnie tępiony dla zasady. Aby ocenić narażenie środowiskowe człowieka na Pb oraz ewentualne szkodliwe następstwa ekspozycji, wprowadzono pomiar stężenia ołowiu we krwi (Pb-B). Uzyskane wtedy dane w formie zależności typu dawka–efekt za główne źródła narażenia środowiskowego na Pb dla człowieka wykazują: farby, woda pitna, gleba i kurz, powietrze oraz żywność. Nie ma na tej liście fartuchów stosowanych w radiografii czy popularnych cegieł ołowianych. Jednak sama ekspozycja środowiskowa na Pb niesie ze sobą potencjalne zagrożenia dla zdrowia. Dlatego też uważa się obecnie, że należy dążyć do jak największego ograniczenia emisji Pb do środowiska naturalnego. Można to osiągnąć poprzez rozwój nowych technologii, w których wykorzystanie Pb byłoby maksymalnie zredukowane.

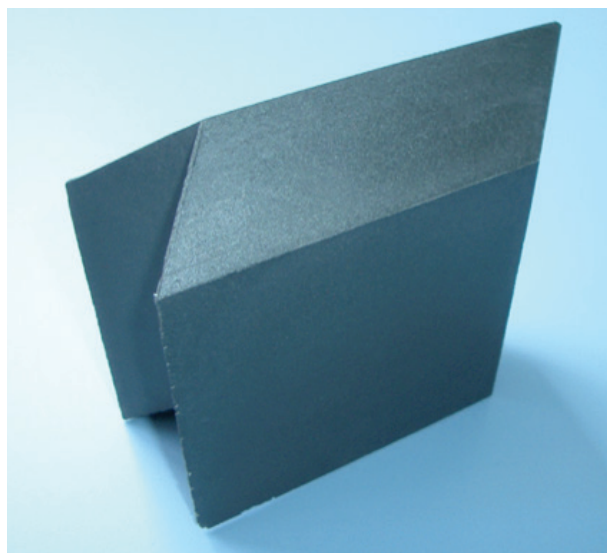


Fot.1. Tworzywo elastyczne na bazie bizmutu stosowane w medycynie i radiologii do ochrony osobistej (fot. Wojciech Głuszewski)

Photo.1. The elastic material based on bismuth used for personal protection in nuclear medicine and radiology

Bizmut

Najciekawszym potencjalnym zamiennikiem ołowiu wydaje się być bizmut. Jest on metalem ciężkim o wyjątkowo niskiej toksyczności. Znajduje również inne zastosowania. Związki bizmutu stanowiące około połowy produkcji bizmutu stosuje się w produkcji: kosmetyków, pigmentów, farmaceutyków (preparaty zwalczające biegunkę). Niestety bizmut jest znacznie droższy od popularnego ołowiu. W ostatnich pięciu latach jego notowania wahały się od 4,5 do 8 \$/ib. W tym samym czasie ołów można było kupić w cenach od 0,7 do 1,2 \$/ib.



Fot. 2. Cegła wykonana z kompozytu epoksyda-bizmut

Photo. 2. Bricks made of composite epoxy - bismuth

Monolityczne osłony przed promieniowaniem jonizującym

Jednym z możliwych zastosowań kompozytów polimerowych są osłony przed promieniowaniem fotonowym i neutronami. Obecnie do ochrony przed neutronami konieczne jest użycie materiałów zawierających wodór, bor lub kadm oraz pierwiastki ciężkie (najczęściej ołów). Kompozyt polimerowy spełnia wszystkie te warunki dodatkowo zastępuje toksyczny i szkodliwy dla zdrowia ołów. W charakterze drugiej fazy kompozytu wykorzystywane są wspomniane na wstępie: bizmut, wolfram, żelazo i baryt (siarczany baru). Osnową są najczęściej epoksydy, silikon, elastomery itd. Cechą charakterystyczną tego typu materiałów jest możliwość modyfikacji jego właściwości konstrukcyjnych i ochronnych odpowiednio do potrzeb. Mogą one znaleźć zastosowanie między innymi w ośrodkach badań jądrowych, składowiskach odpadów promieniotwórczych, elektrowniach jądrowych, zakładach z cyklem paliwa jądrowego, zakładach medycyny nuklearnej. W tym ostatnim przypadku w salach do zabiegów z użyciem promieniowania rentgenowskiego, w elementach drzwi. Wykonuje się z nich pokrywy ochronne, tynki do wzmacniania ścian, narzuty ochronne podczas likwidacji obiektów radioaktywnych, osłony strzykawek, pudełka na rękawice, osłony tymczasowe, itd. Przykładowo wiodący producent fartuchów medycznych w Niemczech zużywa rocznie 5000 m² kompozytu bizmut/materiał krzemowy. Ponadto kompozyty z żywicą mogą być produkowane w postaci cegieł, cegieł narożnych, połówek cegieł i cegieł ramowych do okien chroniących przed promieniowaniem w zdalnych manipulatorach i systemach blokad. W ochronie radiologicznej stosuje się również silikon bez dodatku składnika metalicznego. Jest to płynny twardniejący pod wpływem dodatków silikon dwuskładnikowy wulkanizujący w temperaturze pokojowej. Stabilizuje on, pochłania, obudowuje i magazynuje odpady jądrowe. Może być stosowany na miejscu, podczas transportu, magazynowania i końcowej utylizacji. Nakładany podobnie jak farba może być stosowany w przypadku ochrony korozyjnej metalowych walczaków zawierających materiały radioaktywne. Nowe tworzywa polimerowe w porównaniu z tradycyjnymi materiałami ochronnymi są: nietoksyczne, elastyczne w zastosowaniu, stabilne cieplnie, podlegają recyklingowi, umożliwiają łatwe odkażanie, są odporne na korozję.

Zjawisko ochronne w chemii radiacyjnej

Efektem ochronnym nazwano zjawisko obniżenia wydajności radiolizy związków alifatycznych przez związki aromatyczne. Ze względów praktycznych potencjalne domieszki

ochronne dodawane są do polimerów w postaci komponentów. Mimo, że nie ma bezpośredniego połączenia między łańcuchem a stabilizatorem energia promieniowania pochłonięta przez polimer przenosi się do związku ochraniającego, który rozprasza energię sam nie ulegając rozkładowi. W tym przypadku dosyć nieoczekiwanie wspólny obszar znalazły chemia radiacyjna i fotochemia. Należy jednak zawsze pamiętać, że mechanizm oddziaływania obu rodzajów promieniowania jest zupełnie różny. Światło wybiera określone związki i grupy chemiczne, selektywnie oddziałując z grupami chromoforowymi. Promieniowanie jonizujące natomiast działa na wszystkie składniki materiału w sposób proporcjonalny do ich udziałów elektronowych. Inaczej mówiąc powszechnie stosowane w przetwórstwie polimerów fotostabilizatory i antyutleniacze są niewidoczne dla promieniowania jonizującego.

Jeżeli zjawiska ochronne w chemii radiacyjnej polimerów zdefiniujemy ogólnie, jako procesy mające zapobiegać ich degradacji (pogarszaniu własności mechanicznych) to należy brać pod uwagę kilka możliwych sposobów realizacji tego celu. Można zapobiegać powstawaniu makrorodników poprzez wychwyt pierwotnych produktów jonizacji - dziur i elektronów. Dzięki transportowi energii i ładunku po łańcuchu polimeru wystarczają stosunkowo niewielkie ilości domieszki, aby zjawisko ochronne mogło zachodzić. Jest to podstawowy mechanizm, który zapobiega zmianom chemicznym w polimerze. Dodatki aromatyczne tworzą stosunkowo trwałe rodnikokationy i rodnikoaniony. Rekombinacja tych jonów daje w efekcie cząsteczkę wzbudzoną, która traci energię w wyniku procesów fotofizycznych na drodze promienistej lub bezpromienistej.

Można również efekt ochronny tłumaczyć przekazywaniem energii od cząsteczki wzbudzonej do domieszki. Wymagałoby to jednak dowodów doświadczalnych potwierdzających powstawanie w wyniku napromienienia elementów wzbudzonej matrycy. Dotychczasowe badania w oparciu o radiolizę impulsową i DRS nie udowodniły tej hipotezy. Koncepcja takiego mechanizmu przenoszenia i rozpraszania energii jest bardzo interesująca i mogłaby być tłumaczona zdolnością pierścienia benzenowego do rozpraszania energii.

Dodatki ochronne mogą również, reagować z powstałymi w reakcjach pierwotnych wolnymi rodnikami, współzawodnicząc z procesami sieciowania i utleniania. Należy jednak dodać, że sieciowanie struktury materiału polimerowego często jest korzystne z punktu widzenia własności mechanicznych. W konkretnym przypadku polipropylenu działanie ochronne mogłoby polegać właśnie na doprowadzeniu do tworzenia wiązań poprzecznych.

Można także stosować dodatki, które będą neutralizować destrukcyjne działania innych czynników, głównie tlenu atmosferycznego. Ograniczenie zjawiska utleniania PP uruchamia wspomniany już korzystny z punktu widzenia własności polimeru mechanizm sieciowania. Zastosowanie związków, które reagowałyby z powstającymi produktami utleniania polipropylenu, np. nadtlenkami lub rodnikami hydroksylowymi mogłoby również ograniczać proces destrukcji materiału polimerowego.

Zdobyta dotychczas wiedza na temat radiolizy tworzyw polimerowych pozwala projektować materiały kompozytowe narażone na promieniowanie jonizujące odpowiednio do potrzeb.

Inne zastosowania polimerowych kompozytów

Na koniec pragnę zwrócić uwagę na ciekawe zastosowanie radiacyjnej modyfikacji polimerów. Prowadzone są obecnie badania nad nowego typu kompozytowymi materiałami elastomerowymi służącymi do produkcji wyrobów chroniących przed działaniem promieniowania mikrofalowego. Materiały te będą oparte o nową generację związków zawierających składniki ferromagnetyczne, które wykazują bardzo dobre własności tłumienia dla promieniowania elektromagnetycznego w szerokim zakresie częstotliwości. Istniejące na rynku absorbery, w celu otrzymania wysokich wartości skuteczności ekranowania, są zaprojektowane z użyciem osnów metalowych, co powoduje, że materiały te charakteryzują się niedopuszczalnie wysokim współczynnikiem odbicia. W celu uzyskania materiałów o niskim współczynniku odbicia i wysokim współczynniku pochłaniania energii promieniowania planuje się przeprowadzenie badań konstytutywnych parametrów miękkich materiałów magnetycznych (ferrytowych). Znane dotychczas materiały magnetyczne, w tym ferryty w zakresie mikrofalowym tracą swoje wysokie wartości przenikalności magnetycznej. Z tego powodu w zakresie częstotliwości powyżej 100 MHz materiały te nie znalazły zastosowania jako absorbery. Myśli się o kompozytach elastomerowych z zastosowaniem miękkich materiałów magnetycznych na bazie szkła metalicznego. Przewiduje się, że otrzymany końcowy materiał elastomerowy będzie mógł być kształtowany pod względem geometrii, elastyczności i współczynników odbicia i absorpcji w zależności od przyszłych zastosowań. Kompozyty elastomerowe tego rodzaju mogą być dodatkowo modyfikowane poprzez radiacyjne sieciowanie.

Warto zwrócić uwagę, że obecnie zachodzi konieczność opracowania skutecznych absorberów przeznaczonych do różnych zastosowań, jak na przykład do zabezpieczeń urzą-

dzeń elektronicznych w ramach kompatybilności elektromagnetycznej, do ochrony ludzi przed szkodliwym działaniem promieniowania, czy wreszcie do walki z terrorystycznym atakiem z użyciem ekstremalnie wysokomocowych impulsów elektromagnetycznych.

*prof. dr hab. Maria Rajkiewicz,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników
Oddział Elastomerów i Technologii Gumy w Piastowie
dr inż. Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

Literatura

1. W. Głuszewski, Z.P. Zagórski, M. Rajkiewicz; Protective Effects in Radiation Modification of Elastomers, *Radiation Physics and Chemistry*, 2014, 105, 53-56
2. W. Głuszewski, Z.P. Zagórski, M. Rajkiewicz; The Comparison of Radiation and a Peroxide Crosslinking of Elastomers. *KGK und PV*, 2015, 11/12, 46-49
3. W. Głuszewski, Z. P. Zagórski, Z. Zimek, M. Rajkiewicz, Odporność radiacyjna tworzyw polimerowych, *Tworzywa sztuczne w przemyśle*, 2, 2014, 50-51
4. W. Głuszewski, G. Przybytniak, Radiacyjna modyfikacja kompozytów polimerowych, *Tworzywa Sztuczne w Przemyśle*, 2015, 2, 38 -40
5. R. Mroczyński, M. Szymańska, W. Głuszewski, Reactive magnetron sputtered hafnium oxide layers for nonvolatile semiconductor memory devices, *Journal of Vacuum Science and Technology B*, 2015, 1-5



UROCZYSTE OTWARCIE CENTRUM CYKLOTRO- NOWEGO BRONOWICE

15 października 2015 r. odbyło się uroczyste otwarcie działalności Centrum Cyklotronowego Bronowice w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Trzeba powiedzieć, że już 15-go października 2015 r., bowiem ten piekielnie skomplikowany projekt za 265 mln zł powstał w ciągu zaledwie czterech lat, czyli w gigantycznym tempie. Przypomnę:

- w sierpniu 2009 r. dyrektor Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie prof. Marek Jeżabek podpisał umowę z firmą Ion Beam Application IBA o dostawie „pod klucz” cyklotronu Proteus dającego wiązkę protonów o energii 225 - 250 MeV,
- w 2011 r.: wmurowano kamień węgielny i akt erekcyjny pod budowę ośrodka, podpisano umowę z firmą IBA na dostawę stanowiska gantry,
- w 2012 r.: w gotowym budynku zainstalowano cyklotron Proteus C-235, rozpoczęto budowę budynku pod stanowisko tzw. gantry i po licznych testach oddano do użytku cyklotron Proteus C-235,
- w 2013-2014 r. rozszerzono projekt o drugie ramię gantry i rozpoczęto budowę stanowiska Gantry-2,
- we wrześniu 2015 r. podpisano protokół końcowy odbioru stanowiska terapeutycznego z ramieniem izocentrycznym Gantry-2, a tym samym zakończono cały projekt.

Nowo wybudowany budynek cyklotronu składa się z bunkra osłonnego z halami terapii oka i eksperymentalną oraz z części laboratoryjnej. Zainstalowany w nim cyklotron, PROTEUS C-235 ważący 240 ton, przyspiesza wiązki protonów do energii 235 MeV. Potężne obrotowe ramię gantry o wadze 11 ton to zestaw magnesów, które odchylają monoenergetyczną wiązkę protonów biegnących w jonowodzie, umieszczonym na mechanicznie sztywnej, obracanej konstrukcji stalowej. Mechaniczna precyzja wykonania gantry jest tak wysoka, że maksymalne odchylenie od wybranej osi poziomej tzw. izocentrum w całym zakresie kątów (łącznie ponad 360 stopni, z częściowym przekryciem zakresów) nie przekracza 1 mm. Dzięki niezwykle precyzyjnej elektronice wiązka protonów wyprowadzana z ramienia gantry jest wiązką skanującą. Oznacza to, że małymi krokami naświetla całą objętość nowotworu. Jest to szczególnie ważne w leczeniu guzów w ruchomych częściach organizmu. Można na przykład dostroić parametry skanowania wiązki, do częstości oddychania pacjenta, by guz zlokalizowany w płucach był nieruchomy względem wiązki. Nowopowstały ośrodek jest wyposażony w dwa stanowiska gantry, stanowisko terapii oka, halę z cyklotronem, optyczny system pozycjonowania i weryfikacji pozycji pacjenta, salę anestezji, salę wybudzeń i stanowisko tomografii komputerowej. Są specjalne kolorowe pomieszczenia do przyjęcia najmłodszych pacjentów nawet niemowląt.

Terapia protonowa daje możliwość precyzyjnego niszczenia guzów nowotworowych, umiejscowionych w różnych częściach ciała człowieka. Wysoka dawka promieniowania od protonów niezwykle precyzyjnie rozrywa DNA komórek rakowych w głębi ciała pacjenta nie niszcząc zdrowych tkanek otaczających guz. Metoda ta, jest dużo precyzyjniejsza od konwencjonalnych metod napromieniowania, jest bezkruwa, bezbolesna i nie wywołuje powikłań. Nie daje też możliwości przerzutów ani odnowienia choroby. Jest oczywiste, że nie można jej stosować w przypadku nowotworów rozproszonych, czy nowotworów krwi, chłoniaków, itp. Biorąc pod uwagę skalę zachorowań na nowotwory w Polsce pełne obłożenie ośrodka nie zaspokoi wszystkich potrzeb i nie wyeliminuje metod konwencjonalnych.

Oprócz zastosowań medycznych cyklotron Proteus C-235 w jest wykorzystywany do celów naukowych. Badania dotyczą głównie dwóch obszarów eksperymentalnej fizyki jądrowej: spektroskopii gamma egzotycznych wzbudzeń jądra atomowego oraz oddziaływań kilkuciałowych w jądrze atomowym.

Powstały ośrodek wygląda imponująco nic więc dziwnego, że jego twórcy na otwarcie z dumą zaprosili całą plejadę ważnych osobistości, przedstawicieli świata polityki, nauki, medycyny, a także dostojnika kościoła, który poświęcił nowe obiekty. Aulę IFJ PAN liczącą ponad sto miejsc wypełnili wyłącznie VIP-y. Uroczystości rozpoczęły się wystąpieniem dyrektora IFJ PAN prof. Marka Jeżabka, który po serdecznym powitaniu zebranych przedstawił projekt i wyraził podziękowania zmarłemu Dyrektorowi IFJ PAN, prof. Andrzejowi Budzanowskiemu oraz członkom obecnej Dyrekcji: prof. Pawłowi Olko, prof. Adamowi Majowi i pani mgr Magdalenie Zydek za ogromne zaangażowanie w realizację tak ambitnego przedsięwzięcia. Szczególne słowa wdzięczności dotyczyły śp. Poławy Wiesława Wody za jego pomoc w najtrudniejszych chwilach oraz przedstawicieli władz, sponsorów i decydentów życzliwych tej sprawie.

Listy gratulacyjne od Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Andrzeja Dudy, Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego - prof. Leny Kolarskiej-Bobińskiej, Dyrektora Narodowego Centrum Badań i Rozwoju - prof. Krzysztofa J. Kurzydłowskiego oraz innych wybitnych przedstawicieli świata nauki i polityki odczytał prof. Paweł Olko Dyrektor Centrum Cyklotronowego Bronowice.



Fot. 1. Prof. Marek Jeżabek wita zebranych w auli IFJ gości

Spośród obecnych gości głos zabrali kolejno: Agnieszka Kręcis-Borowiec z Ministerstwa Infrastruktury i Rozwoju, która odczytała list od Sekretarza Stanu pani Iwony Wendel - Marek Sowa - Marszałek Województwa Małopolskiego, Jerzy Miller - Wojewoda Małopolski, Sławomir Pietrzyk - Wiceprzewodniczący Rady Miasta Krakowa, prof. Małgorzata Witko - reprezentująca władze Polskiej Akademii Nauk, prof. Marian Reinfuss - Wojewódzki Konsultant w dziedzinie radioterapii onkologicznej, Centrum Onkologii Instytut im. Marii Skłodowskiej-Curie Oddział w Krakowie, Paul Magnette - Premier Regionu Walonii oraz Pierre Mottet - prezydent zarządu firmy IBA, która wyprodukowała cyklotron Proteus i stanowiska gantry.



Fot. 2. Przecięcie wstęgi

Po krótkiej modlitwie i poświęceniu obiektu przez Jego Ekscelencję Księdza Biskupa Damiana Muskusa kulminacyjnym punktem programu uroczystości otwarcia było symboliczne przecięcie wstęgi w nowym budynku Centrum Cy-

klotronowego Bronowice. Dokonało go aż sześć osób: Jego Ekscelencja Ksiądz Biskup Damian Muskus, prof. Marek Jeżabek, Agnieszka Kręcis-Borowiec, Sławomir Pietrzyk, Jerzy Miller i Marek Sowa. Zebrani w kilkunastoosobowych grupach mogli zwiedzić ośrodek oprowadzani przez młodych fizyków. Zobaczyli halę z cyklotronem, stanowiska gantry, stanowisko terapii oka, halę eksperymentalną, salę anestezji, salę wybudzeń i stanowisko tomografii komputerowej.



Fot. 3. Prezentacja stanowiska gantry



Fot. 4. Prof. Paweł Olko udziela wywiadu



Fot. 5. Tomograf komputerowy

W Sali Seminaryjnej budynku CCB zorganizowano konferencję prasową, w której uczestniczyli: prof. Marek Jeżabek, prof. Paweł Olko, dr Gabriela Sujkowska - Dyrektor Wydziału Taryfikacji Agencji Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji, prof. Marian Reinfuss - Konsultant Wojewódzki ds. radioterapii onkologicznej, prof. Rafał Dziadziuszko - Konsultant Krajowy w dziedzinie radioterapii onkologicznej oraz prof. Jerzy Jakubowicz - Dyrektor Centrum Onkologii Instytutu im. Marii Curie-Skłodowskiej Oddział w Krakowie. Media informacyjne były reprezentowane przez przedstawicieli Prasy (Dziennik Polski, Gazeta Krakowska, Gazeta Wyborcza, Galicyjska Gazeta Lekarska), Radia (Program 1, Program 3, Radio Zet, Radio Kraków, Radio Eska, TOK FM), Telewizji (TVN 24) oraz Portalu Internetowego Interia.

„Jesteśmy jedynym ośrodkiem radioterapii protonowej w Polsce i chcemy, żeby Centrum służyło całemu polskiemu środowisku lekarskiemu, zarówno do badań naukowych, jak i leczenia pacjentów” – mówił mediom prof. Jeżabek.

Do tej pory chorzy z czerniakiem gałki ocznej korzystali z terapii protonowej opartej na wiązce z cyklotronu AIC144. Małopolski oddział NFZ podpisał umowę ze Szpitalem Uniwersyteckim, a świadczenia te są wykonywane na terenie IFJ. Od 2013 r. do końca października br. z tej możliwości skorzystało 101 osób. W 2013 r. NFZ na ten cel przeznaczył 1 mln 260 tys. zł, w 2014 r. - 2 mln 415 tys. i taką samą kwotę w tym roku. W styczniu 2016 r. rozpocznie się terapia oka na cyklotronie Proteus-235.



Fot. 6. Prezentacja cyklotronu Proteus

„W pierwszym roku przyjmimy 250 pacjentów. Jeśli znaczącą grupę będą stanowić dzieci, to liczba będzie mniejsza” – mówił prof. Jeżabek.





Fot. 7. Pomieszczenie dla dzieci

Szacuje się, że średnio czas sesji napromieniowania dorosłego pacjenta wynosi pół godziny, a dziecka półtora godziny. Docelowo byłoby możliwe przyjęcie 250-350 pacjentów na jedno gantry rocznie.

Najważniejszą sprawą dla zebranych na konferencji prasowej był termin przyjęcia przez ośrodek pierwszych pacjentów. Okazało się, że będzie to dopiero na początku 2016 r., gdyż Ministerstwo Zdrowia nie zdążyło dotąd przygotować listy nowotworów kwalifikowanych do terapii i wyceny ich leczenia, chociaż zgłoszenia o powstawaniu centrum dokonano w 2013 r.

Dr Gabriela Sujkowska - Dyrektorka Agencji Oceny Technologii Medycznych i Taryfikacji twierdzi, że wniosek otrzymała z ministerstwa kilka miesięcy temu i obiecuje: „Do końca miesiąca (października 2015 r. przyp. aut) będzie wydana rekomendacja, co do kwalifikacji świadczeń w tym obszarze, natomiast w listopadzie uda nam się sfinalizować te procedury”.

„W pierwszej kolejności chcielibyśmy w Krakowie leczyć nowotwory okolicy głowy i szyi, podstawy czaszki, mózgowia i rdzenia kręgowego, w przypadku których korzyść z terapii protonowej jest najbardziej udowodniona i jednoznaczna” – stwierdził prof. Rafał Dziadziuszko Konsultant Krajowy w dziedzinie radioterapii onkologicznej.

- „Na razie mówimy, że zrobiliśmy wszystko, co w naszej mocy, żeby ten ośrodek uruchomić” - powiedział prof. Paweł Olko.

- „Bardzo liczę na determinację i dobrą wolę, bo to, co tu mamy jest jednym z najnowocześniejszych ośrodków na świecie, których nie mają znacznie bogatsze kraje” – dodał prof. Jeżabek.

Od początku tego roku naukowcy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie odebrali kilkadziesiąt telefonów i listów od chorych na raka z pytaniami o szanse przyjęcia na leczenie protonami. Rozważane do kwalifikacji typy nowotworów występują niezwykle rzadko. Tak więc, większość polskich pacjentów jeszcze długo będzie leczona metodami tradycyjnymi.

dr Małgorzata Nowina Konopka,
Instytut Fizyki Jądrowej,
Polskiej Akademii Nauk,
Kraków



MĄDRALIN - 2015 WYBRANE ASPEKTY BEZPIECZEŃSTWA ELEKTROWNI JĄDROWEJ W POLSCE

W sali Pod Kopułą Ministerstwa Gospodarki dwa siostrzane stowarzyszenia - Polskie Towarzystwo Nukleoniczne (PTN) i Francuskie Stowarzyszenie Energii Jądrowej (SFEN) – zorganizowały w dniach 24-25 listopada wspólną konferencję naukowo-techniczną pod tytułem: pt.: „MĄDRALIN 2015. Wybrane aspekty bezpieczeństwa elektrowni jądrowej w Polsce”. Partnerem wydarzenia, nad którym honorowe patronaty objęły Ministerstwo Gospodarki, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego i Komitet Problemów Energetyki przy Prezydium PAN była Polska Grupa Energetyczna Energia Jądrowa S.A.

Symboliczna nazwa „Mądralin 2015” nawiązuje do pierwszych spotkań organizowanych przez PTN w Domu Pracy Twórczej PAN w Mądralinie k. Warszawy. Ten piękny ośrodek nie był niestety w stanie pomieścić wszystkich chętnych do uczestnictwa w kolejnych spotkaniach i z tego powodu przeniesiono konferencję do stolicy.

Celem pierwszego spotkania (2000 rok) było zwrócenie uwagi na konieczność wsparcia działań zmierzających do zainicjowania procesu opracowania projektu energetyki jądrowej w naszym kraju.

Obecnie należy stwierdzić, że mimo kilkunastu lat, jakie minęły od pierwszej konferencji energetyka jądrowa w Polsce jest nadal tylko w fazie projektu.

Celem tegorocznej, czwartej z cyklu „Mądralin” konferencji było przedstawienie wybranych aspektów bezpiecznego projektowania, budowy i eksploatacji elektrowni jądrowej w Polsce, tak jak są one postrzegane w 2015 r. Jak już wspomniano powyżej tym razem zorganizowana została ona wspólnie z Francuskim Stowarzyszeniem Energii Jądrowej (SFEN), z którym PTN, zwłaszcza od podpisania w roku 2013 specjalnej umowy, ściśle współpracuje.

Otwarcia konferencji dokonały: prof. Grażyna Zakrzewska-Kołtuniewicz, prezes PTN i w zastępstwie nieobecnego prezesa SFEN, p. Valerie Faudon, sekretarz generalna SFEN.

Program konferencji obejmował cztery sesje i trzy panele dyskusyjne.

Pierwszym mówcą w pierwszej sesji plenarnej był dyrektor Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Gospodarki Zbigniew Kubacki. Temat jego wystąpienia był zatytułowany: „Realizacja Programu Polskiej Energetyki Jądrowej”.

W swoim wystąpieniu dyr. Kubacki przypomniał, że elektrownie jądrowe mogą być istotnym źródłem wytwórczym w przyszłym krajowym miksie energetycznym. W perspektywie 2030 r. wyłączonych zostanie 12 GW, czyli ponad jedna trzecia obecnie zainstalowanej mocy w krajowym systemie elektroenergetycznym. Ma być ona jednak odbudowana w oparciu o węgiel, OZE i energetykę jądrową.

- Elektrownie jądrowe mogą w znacznym stopniu zabezpieczyć polski system elektroenergetyczny, działają bowiem niezależnie od warunków pogodowych, a umieszczone nad Bałtykiem będą funkcjonować prawidłowo niezależnie od warunków hydrologicznych, w tym niskiego stanu wód w rzekach – powiedział Zbigniew Kubacki.

Kolejny mówca, przedstawiciel Francuskiego Komisarzatu Energii Atomowej i Energii Odnawialnych (CEA) scharakteryzował współpracę ośrodków francuskich z polskimi placówkami naukowo-badawczymi. W sesji tej wystąpili ponadto

reprezentanci głównych interesariuszy instytucjonalnych Programu Polskiej Energetyki Jądrowej: PAA, PGE EJ1, Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Przedstawicielka NCBR, dr Małgorzata Świdarska potwierdziła rozpowszechnianą już wcześniej informację, że realizowany w latach 2011-2014 strategiczny projekt badawczy pt. „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” nie będzie przedłużony.

Tymczasem obecnie realizowane w ramach PPEJ prace obejmujące badania środowiskowe, organizację działania inżyniera kontraktu, przygotowania do ogłoszenia przetargu na dostawę technologii wymagają specjalistów zdolnych do przeprowadzenia oceny proponowanej technologii zarówno przez inwestora jak i przez dozór jądrowy. Taka ocena powinna być dokonana przez specjalistów krajowych w organizacjach wsparcia technicznego (TSO) z wykorzystaniem współpracy międzynarodowej i doświadczenia krajów, w których technologie przewidziane do zastosowania w Polsce zostały już wdrożone.

I właśnie na temat przygotowania organizacji wsparcia technicznego (TSO) dla energetyki jądrowej w Polsce dyskutowali uczestnicy panelu, któremu przewodniczył prof. Andrzej Chmielewski. Oprócz specjalistów z Francji, UK i Węgier w panelu wzięli udział eksperci polscy. Jeden z nich Tomasz Jackowski dość krytycznie ocenił istniejącą sytuację twierdząc, że proces tworzenia TSO w Polsce jest znacznie opóźniony.

Uczestnikami kolejnej sesji byli - poza współprzewodniczącym (prof. Mariuszem Dąbrowskim) - specjaliści francuscy z SFEN, EDF i AREVY. W związku ze się światową konferencją COP 15 prezentacja SFEN dotyczyła roli energetyki jądrowej w ograniczaniu zmian klimatu. Przedstawiciele EDF i AREVY mówili o doświadczeniach i możliwościach swoich firm w wytwarzaniu energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych.

Ostatnia sesja pierwszego dnia konferencji zatytułowana była: „Nauka dla EJ w Polsce cz.I”. Problematyka przedstawianych prezentacji był bardzo różnorodna. Dotyczyła takich tematów jak planowanie likwidacji elektrowni jądrowych, recyklingu wypalonego paliwa, bezpieczeństwa komputerowego w obiektach nuklearnych, nowej koncepcji szybkiego reaktora jądrowego, znaczenia synergii: energia jądrowa - węgiel dla bezpieczeństwa energetycznego Polski, wyników realizacji strategicznego projektu badawczego SPREY.

Drugi dzień konferencji rozpoczął się od panelu na temat współpracy naukowej Polski i Francji (oczywiście w dziedzinie energetyki jądrowej). Przykładem takiej współpracy może być przeprowadzenie analiz ciepłno-przepływowych podczas awarii reaktorów typu PWR i BWR. Rozpatrzone awarie spowodowane przez małe, średnie i duże rozerwania rurociągu obiegu pierwotnego, rozerwania rurociągów doprowadzających wodę zasilającą do zbiornika reaktora oraz awarie reaktywnościowe. Wykorzystano kody obliczeniowe, a wśród nich francuski kod obliczeniowy CATHARE. Prezentację na opisywany powyżej temat przedstawił Piotr Mazgaj z Instytutu Techniki Ciepłej Politechniki Warszawskiej.

Dr Zbigniew Zimek przewodniczył sesji „Nauka dla EJ w Polsce cz. II”. Spośród ośmiu prezentacji trzy dotyczyły usuwania/rekombinacji wodoru w trakcie awarii reaktora, dwie analiz awarii reaktorów jądrowych, a pozostałe odpowiednio: wykorzystania kodów obliczeniowych do analiz bezpieczeństwa obiektów jądrowych, modelowania wpływu promieniowania na zdrowie oraz znaczenia badań społecznych związanych z energetyką jądrową w Europie środkowo-wschodniej.

Zdaniem uczestników konferencji, którzy dotrwali do jej ostatniej części była ona jedną z najciekawszych. Temat ostatniego panelu brzmiał: „Polski przemysł dla energetyki jądrowej”. W panelu prowadzonym przez Adama Rozwadowskiego

uczestniczyli pracownicy Ministerstwa Gospodarki, Politechniki Warszawskiej, PGE EJ1 oraz firmy ELEKTROBUDOWA. Obraz jaki wyłania się z przedstawionych przez panelistów informacji jest zaskakująco pozytywny. Polski przemysł jest dobrze przygotowany i jest gotowy do praktycznej realizacji PPEJ.

Bardzo ważną częścią konferencji była sesja posterowa. Zaprezentowano 34 postery. Specjalna Komisja dokonała ich oceny. Najlepszy poster, co zostało potwierdzone specjalnym dyplomem, przygotowali Łukasz Koszuk i Małgorzata Klisińska z NCBJ. Tytuł pracy: „The safety analysis of HTR-10 reactor with pebble bed core using KENO-VI/SCALE code”. Przyznano również trzy wyróżnienia.

Konferencja odbywała się w roku 60-lecia polskiej atomistyki i 25-lecia Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego. Czas odbywania się konferencji to także czas szczególny dla Polski. Powołany został nowy rząd. Powszechne jest oczekiwanie na deklarację nowych władz w sprawie przyszłości energetyki jądrowej w Polsce.

Organizatorzy konferencji jako stowarzyszenie non profit starali się zminimalizować jej koszty. Udało się to dzięki wsparciu sponsorów, głównie AREVY i EDF.

Konferencja może być uznana za udaną. Szczegółowe wnioski po ich dopracowaniu zostaną opublikowane w następnym numerze PTJ. Jednak niektóre spostrzeżenia można sformułować już teraz. Oto kilka spostrzeżeń autora niniejszej noty.

1. Idzie młodość. Na konferencji autorami wielu referatów, posterów prezentacji byli ludzie młodzi. Wyraźnie obserwujemy pojawienie się młodego pokolenia specjalistów w dziedzinie energii jądrowej.

2. Potrzeba lobbowania za energetyką jądrową. Mimo, że podejmowane wcześniej formy nacisku na decydentów nie przyspieszyły realizacji PPEJ, to jednak zwłaszcza teraz - po zmianach na szczytach władzy - nacisk na strukturę władzy politycznej i gospodarczej w celu jednoznacznego opowiedzenia się za rozwojem energetyki jądrowej jest konieczny.

3. Zapewnić możliwość rozwoju badań nad bezpieczeństwem jądrowym. Są one wielokrotnie tańsze niż wydatki na inżyniera kontraktu.

4. Przyspieszyć proces tworzenia organizacji wsparcia technicznego w Polsce.

5. Starać się wszelkimi możliwymi sposobami upowszechnić materiały konferencji.



Fot. 1. Stanisław Latek podczas konferencji zadaje pytanie pani Valerie Faudon (fot. Sylwester Wojtas)

I jeszcze kilka danych statystycznych. Na podstawie list zarejestrowanych uczestników (według podpisów) oraz dopisanych po przyjeździe w konferencji uczestniczyło 118 osób. Uczestnicy konferencji rekrutowali się z 8. krajów: Polska, Austria, Francja, Niemcy, Ukraina, Szwecja, Węgry, Wielka Brytania. Reprezentowali 49 różnych instytucji i organizacji, w tym:

8 uczelni (AGH, Akademia Obrony Narodowej, Politechnika Gdańska, Politechnika Łódzka, Politechnika Poznańska, Politechnika Śląska, Politechnika Warszawska, Uniwersytet Szczeciński), 9 instytutów badawczych (Collegium Civitas, IChTJ, CEA, CLOR, Instytut Geochemii (Ukraina), Instytut Geologii, Instytut Katalizy PAN, Instytut Spawalnictwa, NCBJ), 12 organizacji (Hungarian Atomic Energy Agency, IAEA, IRNS, IZEN, Obywatelski Ruch na Rzecz Energii Jądrowej, PTN, SEREN, SFEN, Stowarzyszenie ekologiczno-kulturalne - Społeczny Monitor Jądrowy, SIOR, Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie, WIN), 12 firm (ABB (Szwecja), AKROPOL, AMEC, AREVA, Bireta, Biuro Tłumaczeń, EDF, ELEKTROBUDOWA, NUCMED, PGE EJ1, Vintage consulting, ZUOP), media (Proatom, PTJ, Środowisko, Wydawnictwo p. Galant), ministerstwa, urzędy, ambasady (MG, MNiSW, PAA, Ambasada Francji).

Było nas 84 mężczyzn i 34 kobiety.

A skoro mowa o organizatorach, to ja osobiście chciałbym wyróżnić dwie osoby spośród Komitetu Organizacyjnego: Bożenę Sartowską i Andrzeja Mikulskiego. Bez ich pracy i zaangażowania nie byłoby tej konferencji

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



UKRAIŃSCY EKSPERCI O POSTĘPOWANIU Z ODPADAMI PROMIENIOTWÓRCZYMI

W dniu 26.11.2015 r. w IChTJ dwoje naukowców ukraińskich prof. Georgy Lysychenko i dr Yuliia Bondar z Instytutu Geochemii Środowiskowej Narodowej Akademii Nauk Ukrainy w Kijowie wygłosili wykłady na temat nowych technologii przy postępowaniu z odpadami promieniotwórczymi w ich kraju. A oto streszczenie wykładu prof. Lysychenko, który przedstawił prezentację na temat „jednego z głównych problemów bezpieczeństwa ekologicznego Ukrainy, czyli postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi”.

(Dr Julia Bondar przedstawiła prezentację na temat radiacyjno-chemicznej syntezy polimerów i złożonych adsorbentów).



Fot. 1. Dr Julia Bondar przedstawiła prezentację na temat radiacyjno-chemicznej syntezy polimerów i złożonych adsorbentów

Po przypomnieniu, że Ukraina eksploatuje 15 bloków jądrowych w czterech elektrowniach, które dostarczają blisko 50% energii elektrycznej autor prezentacji scharakteryzował objętość (4,6 mln metrów sześciennych) i główne miejsca przechowywania (i rozmieszczenia) odpadów promieniotwórczych na Ukrainie. Odpady wysokoaktywne i wypalone paliwo zajmują objętość 1000 metrów sześciennych.

Stale i ciekłe odpady promieniotwórcze są zabezpieczane na obiektach, z których pochodzą i są magazynowane w specjalnych przechowalnikach. Postępowanie z odpadami w elektrowniach jądrowych na Ukrainie charakteryzuje się brakiem wdrożenia pełnego cyklu zagospodarowania (*lack of complete technological cycle*). Problem składowania, lub przechowywania długozyciowych odpadów promieniotwórczych czeka na rozwiązanie. W szczególności podczas pracy elektrowni jądrowych zwykle powstają i są gromadzone na jej terenie ciekłe odpady promieniotwórcze, które nie będą mogły być bezpośrednio składowane w przyszłości: wody z drenażu i przeróbki odpadów, osady i koncentraty powyparne. Pogłębione odparowanie powoduje powstawanie wysoko zażęzonych koncentratów w postaci skumulowanego „placka” (*fusion cake*), którego przechowywanie na terenie elektrowni jądrowej stanowi poważny problem. Według ostatnich szacunków magazyny Rowieńskiej EJ będą całkowicie zapełnione tego rodzaju odpadami już ok. roku 2020.

Miejsca na terenie elektrowni jądrowej, przeznaczone na przechowywanie stałych odpadów, promieniotwórczych są obecnie wzmacniane blokami z betonu i są separowane w zależności od poziomu aktywności odpadów. Na terenie Zaporoskiej EJ budowany jest przechowalnik wypalonego paliwa, który pomieści 380 kontenerów i będzie wykorzystywany przez 50 lat.

Planowana jest budowa centralnego składowiska wypalonego paliwa z elektrowni Rowieńskiej, Chmielnickiej i Południowo-ukraińskiej w rejonie Czarnobyla.

W kolejnej części wykładu prof. Georgy Lysychenko scharakteryzował prace nad zagospodarowaniem odpadów, które prowadzone są w czterech instytutach Ukraińskiej Akademii Nauk.

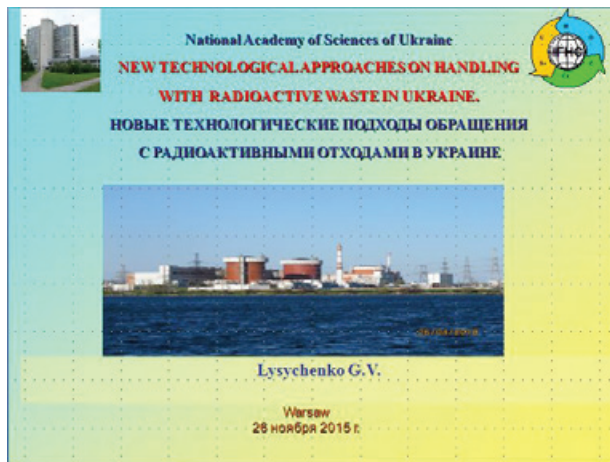


Fot. 2. Dr Julia Bondar i prof. Georgy Lysychenko podczas spotkania z pracownikami IChTJ

Na zakończenie przedstawił propozycje ukraińskie dwóch projektów badawczych w zakresie postępowania z odpadami promieniotwórczymi:

“Management of the technology of liquid radioactive waste”;
“The long-term prediction of radionuclide migration under conditions of high level waste and nuclear spent fuel geological disposal”

Celem pierwszego projektu jest rozwiązanie problemu przeprowadzania ciekłych odpadów promieniotwórczych do stanu stałego, akceptowalnego do przechowywania, jako że zgodnie z prawem Ukrainy tylko *solid radioactive waste (SRW) can be disposed*. Wynika z tego, że ciekłe odpady promieniotwórcze muszą być przetwarzane bezpośrednio na terenie elektrowni jądrowej.



Fot. 3. Strona tytułowa prezentacji prof. Lysychenko

Jeśli chodzi o drugi projekt specjaliści z Ukrainy proponują badanie wpływu radiacji, (której źródłem są wysokoaktywne odpady i wypalone paliwo) na materiały barier ochronnych poprzez użycie akceleratora elektronów.

Propozycje współpracy kierowane są do Euratomu i europejskiej społeczności naukowej.

Można sądzić, że wizyta naukowców z Ukrainy w ICHTJ służyła rozeznaniu możliwości współpracy instytutów ukraińskich z instytutem na Żeraniu.

Na ostatnim slajdzie znajdowały się słowa: *But it is clear that without scientific support and international cooperation it will be impossible to fulfill all the tasks and to implement new technologies. THE WAY TO OUR SUCCESS – JOINT COLABORATION.*

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



Wrocław, 15 września 2015

SPRAWOZDANIE 8TH CONGRESS ON APPLICATION OF RAMAN SPECTROSCOPY IN ART AND ARCHAEOLOGY (RAA2015)

W dniach od 1 do 5 września 2015 r. na Wydziale Chemii UW r. odbył się 8th Congress on Application of Raman Spectroscopy in Art and Archaeology (RAA2015), który zgromadził 114 uczestników z 20 krajów. Od pierwszego spotkania w 2001 r. w British Museum konferencja jest organizowana co

dwa lata przez uniwersytety będące uznanymi europejskimi ośrodkami akademickimi: Gandawa (2003), Paryż (2005), Modena (2007), Bilbao (2009), Parma (2011) i Lublana (2013).

Przewodniczącą Komitetu Organizacyjnego była dr Barbara Łydzba-Kopczyńska, która jest również członkiem Komitetu Naukowego kongresu. Podczas 14 sesji naukowych wygłoszonych zostało 11 wykładów na zaproszenie, 37 prezentacji ustnych oraz 32 prezentacje posterowe. W trakcie obrad prezentowane były zagadnienia dotyczące badań materiałowych pigmentów, barwników, spoiw, materiałów ceramicznych, tworzyw polimerowych, procesów degradacji obiektów dziedzictwa kulturowego, badań materiałów pochodzenia biologicznego oraz minerałów takich jak kosmetyki czy żywice kopalne, rozwoju zastosowań chemometrii i powierzchniowo wzmocnionej spektroskopii ramanowskiej, a także zastosowań spektroskopii ramanowskiej w badaniach kryminalistycznych.

Konferencja została wybrana przez Erasmus Mundus Master Course in Archeological Material Science jako miejsce prezentacji tematów prac, które będą realizowane w latach 2014-2016 przez ARCHMAT Master Course.

Manuskrypty prac prezentowanych podczas RAA2015 po zrecenzowaniu zostaną opublikowane w Special Issues of "Journal of Raman Spectroscopy" (IF 2,671 w 2015 roku), którego współredaktorem będzie dr Barbara Łydzba-Kopczyńska.

W trakcie konferencji zostały wręczone nagrody za najlepsze wystąpienie ustne oraz prezentację posterową przygotowane przez młodych naukowców. Nagrody w formie książek zostały ufundowane przez ABE IPS.

8th Congress on Application of Raman Spectroscopy in Art and Archaeology został włączony do programu obchodów International Year of Light 2015 zorganizowanego przez UNESCO.

Kongres został objęty Patronatem Honorowym przez Rektora Uniwersytetu Wrocławskiego prof. dr hab. Marka Bojarskiego, Przewodniczącego PTChem prof. dr hab. Bogusław Buszewskiego, Wojewodę Dolnośląskiego Tomasza Smolarza, Marszałka Województwa Dolnośląskiego Cezarego Przybylskiego oraz Prezydenta miasta Wrocławia Rafała Dutkiewicza.

Patronat medialny nad konferencją został objęty przez „Wiadomości Chemiczne”, „Analitykę”, „Laboratorium”, „Postępy Techniki Jądrowej” oraz TVP Wrocław.

Platynowym Sponsorem konferencji została firma Renishaw, natomiast dwoma Patronami Srebrnymi: B&W Tek, Inc. oraz WITec GmbH. Jako wystawcy w kongresie uczestniczyli przedstawiciele następujących firm: Metrohm-Polska, Perlan i ABE IPS.

Książka Abstraktów kongresu RAA2015 zawierająca także notatki dotyczące wcześniejszych konferencji została opublikowana z nr ISBN i ponadto w formie elektronicznej, jako PDF jest dostępna na stronie konferencji (<http://raa.chem.uni.wroc.pl>). Szczegółowe informacje na temat konferencji znajdują się na stronie internetowej Wydziału Chemii Uniwersytetu Wrocławskiego w zakładce Konferencje.

Z poważaniem,

Przewodnicząca Komitetu Organizacyjnego
8th Congress on Application of Raman Spectroscopy
in Art and Archaeology



MEDAL PTChem

Podczas uroczystej sesji otwierającej 58 Ogólnopolski Zjazd Naukowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego wręczono nagrody i medale PTChem. W obecności Prezydenta Lecha Wałęsy, z rąk prof. dr hab. Bogusława Buszewskiego Okolicznościowy Medal PTChem otrzymał dr. inż. Wojciech Głuszewski (IChTJ, PTN). Wyróżnienie to jest formą podziękowania za wkład pracy na rzecz PTChem, a w szczególności za aktywne i bezinteresowne uczestnictwo w przedsięwzięciach organizowanych przez Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie PTChem. Na awersie medalu umieszczono postać Marii Skłodowskiej-Curie na rewersie kamienicę przy ul. Freta 16 w Warszawie, miejsce urodzin uczonej. Podobny medal otrzymał także Prezydent Lech Wałęsa, honorowy patron Zjazdu. Zjazd Naukowy w Gdańsku miał wymiar szczególny. Jak napisali organizatorzy *„Tysiącletni Gdańsk przez wieki słynął ze swojego umiłowania wolności i swobód obywatelskich, a dzięki zamożności i mądrości swych włodarzy wspierał zawsze rozwój nauki i kultury. Ze swobód tych korzystali tu Jan Heweliusz, Daniel Fahrenheit, Daniel Chodowiecki, Arthur Schopenhauer i wielu innych znakomitych uczonych i twórców gdańskich. W historii Gdańska zapisały się także wydarzenia przełomowe, które niewątpliwie wpłynęły nieraz na zmianę biegu historii Europy; od czasów hanzeatyckich poprzez tragiczne wydarzenia II wojny światowej po narodziny SOLIDARNOSCI - największego w historii ruchu społecznego”*. Organizatorzy Zjazdu zadbałi, aby obradom przyświecała myśl „polska chemia w mieście wolności”. Wolności rozumianej przez pryzmat gdański, jako przejaw mądrości, swobody myśli i odwagi. To przecież cechy nie tylko miejsca, ale przede wszystkim atrybuty nowoczesnej nauki.



Fot. 1. Dr. inż. Wojciech Głuszewski otrzymał Medal okolicznościowy Polskiego Towarzystwa Chemicznego. Wręczenia dokonał prof. dr hab. Bogusław Buszewski

Zjazd PTChem to tradycyjnie również wydarzenie naukowe. Do Gdańska przybyło ponad 1000 naukowców, w tym liczni gości z zagranicy. Praktycznie wszyscy zgłoszeni uczestnicy brali aktywny udział w obradach zjazdowych prezentując wykłady plenarne, wykłady sekcyjne, komunikaty ustne i postery. Byli wśród nich tegoroczni Medaliści PTChem i zaproszeni Goście, którzy wygłosili 11 wykładów plenarnych. Wykład inauguracyjny „Niezwyczajne sekwencje aminokwasowe w domenach wiążących jony metali” został wygłoszony przez

prof. Henryka Kozłowskiego. Ceremonię inauguracji Zjazdu uświetnił występ Akademickiego Chóru Uniwersytetu Gdańskiego pod dyrygenturą prof. Marcina Tomczaka.

W trakcie obrad Zjazdu w 15 Sekcjach i 2 Mikrosympozjach wygłoszono 132 wykłady sekcyjne oraz 230 komunikatów i zaprezentowano 802 postery. Należy podkreślić, iż w ramach obrad Sekcji Chemii Organicznej i Bioorganicznej odbyła się sesja specjalna poświęcona działalności prof. Osmana Achmatowicza, natomiast w ramach Sekcji Chemii Fizycznej i Katalizy sesja poświęcona prof. Jerzemu Błażowskiemu. Na stronie internetowej w zakładce „Książka abstraktów” znajdują się materiały zjazdowe w formie elektronicznej.



Fot. 2. Uczestnicy 58 Ogólnopolskiego Zjazdu Naukowego Polskiego Towarzystwa Chemicznego. W trzecim rzędzie honorowy patron Zjazdu Prezydent RP Lech Wałęsa (fot. z archiwum PTChem)



SYSTEMY ZASILANIA AWARYJNEGO

APS Energia producent urządzeń zasilania awaryjnego przedstawił plany rozwoju w związku z planowanym debiutem na głównym parkiecie Giełdy Papierów Wartościowych. Obecnie 45% przychodów Spółki stanowią wpływy z zamówień zagranicznych, głównie z państw WNP, które przeznaczają wysokie nakłady inwestycyjne na modernizację i rozbudowę infrastruktury naftowo-gazowej oraz energetycznej. Perspektywy rozwoju działalności i potencjału rynku rosyjskiego przedstawił Dyrektor Generalny APS RUS, Albert Koszarek. Rynek systemów zasilania gwarantowanego jest stabilny, ponieważ kluczowe sektory z punktu widzenia rynku rosyjskiego muszą się rozwijać. APS Energia zamierza systematycznie zwiększać swoje wpływy na wartym ok. 500 mln złotych rynku rosyjskim, mimo dewaluacji rubla. Firma będzie również kontynuowała dostawy dla energetyki na Ukrainie. Jednocześnie APS Energia dywersyfikuje swoje przychody. Spółka rozpoczęła produkcję urządzeń zasilania gwarantowanego dla energetyki jądrowej, trakcji i transportu oraz dla wojska. Firma zdobyła już wymagane na rosyjskim rynku certyfikaty bezpieczeństwa, co daje uprawnienia do pracy urządzeń w drugiej strefie bezpieczeństwa w elektrowni jądrowej, pierwsza strefa bezpieczeństwa oznacza pracę bezpośrednio przy rdzeniu reaktora. W najbliższym czasie zostaną powołane nowe spółki APS w Turcji i USA. Firma rozpoczyna również działania handlowe na rynku irańskim. Można liczyć, że zdobyte doświadczenia uda się wykorzystać w polskim projekcie energetyki jądrowej.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



RADPOL

Radpol czołowy producent i dostawca zaawansowanych produktów dla energetyki, ciepłownictwa, instalacji wodnych, kanalizacyjnych i gazowych zorganizował konferencję prasową, na której przedstawił plany na najbliższą przyszłość. Historycznie spółka istnieje od ponad 30 lat i wywodzi się z powstałego w 1970 r. Przedsiębiorstwa Doświadczalnego Przemysłu Kablowego i Sprzętu Elektrotechnicznego KABLOSPRZĘT w Ożarowie Mazowieckim z siedzibą w Człuchowie. Początkowo przedmiotem działalności dzisiejszego RADPOLu była doświadczalna produkcja maszyn i urządzeń dla przemysłu kablowego. W 1976 r. Spółka została przejęta przez Fabrykę Przewodów Elektrycznych „EMA – ZAŁOM” w Szczecinie. Współpraca rozpoczęła wieloletni proces rozszerzania asortymentu produkcji. W 1983 r. firma zakupiła pierwszy akcelerator elektronowy o energii 2 MeV, który zastosowano do radiacyjnego sieciowania polimerów. Decyzję o jego zakupie podjęto w momencie uruchomienia produkcji wyrobów termokurczliwych. Warto wyjaśnić, że jedną z metod sieciowania polietylenu przed tzw. rozdmuchem jest obróbka radiacyjna za pomocą wiązki elektronów. Zwykły polietylen po ogrzaniu i rozciąganiu rozrywa się. Kiedy jednak wytworzy się wiązania poprzeczne nabiera cech elastomeru i łatwo się wydłuża zapamiętując pierwotny kształt. Tak, więc po powtórным ogrzaniu materiał zaciska się na np. przewodzie elektrycznym lub rurze kanalizacyjnej. Te właściwości wykorzystuje się do produkcji tzw. muf, które służą do odtwarzania płaszcza zewnętrznego na połączeniach odcinków preizolowanych rur ciepłowniczych. Mufy termokurczliwe sieciowane radiacyjnie doskonale odwzorowują płaszczy osłonowej rury preizolowanej, przez co zmniejszają opory tarcia w gruncie i zwiększają żywotność złącza, charakteryzując się wysoką odpornością na działanie korozji naprężeniowej. Dzięki dużej sile obkurczania, wytrzymałości mechanicznej na naprężenia powstające w trakcie wydłużeń termicznych sieci, powodowanych zmienną temperaturą czynnika grzewczego i odpornością na starzenie, mufy zapewniają długotrwałą żywotność sieci ciepłowniczej oraz bezpieczeństwo złącza rur preizolowanych. Uruchomienie drugiego akceleratora elektronowego o energii 4,5 MeV miało miejsce w październiku 2008 r. Wdrożenie to, było zwieńczeniem 2-letniego procesu modernizacji Zakładu w Człuchowie i w istotny sposób podniosło możliwości produkcyjne RADPOLu. Na przełomie 2009 i 2010 r. RADPOL przeprowadził gruntowną modernizację pierwszego akceleratora, który został wyposażony w nowoczesny układ sterowania i kontroli. Akcelerator zyskał też stabilniejsze parametry pracy, a jego energia wzrosła z 2,0 MeV do 2,5 MeV. Włączenie w skład Grupy w 2010 r. RUGA-Zu pozwoliło na umocnienie pozycji w segmencie ciepłowniczym i podjęcie przez zakłady współpracy w zakresie uruchomienia produkcji systemów preizolowanych. W czerwcu 2013 r. w skład Grupy Kapitałowej włączona została spółka FINPOL ROHR, która jest producentem kompletnych systemów preizolowanych do budowy sieci ciepłowniczych oraz do przesyłu innych mediów. Dzięki tej akwizycji RADPOL w krótkim czasie zyska silną pozycję w dostawach dla branży ciepłowniczej. Spółka posiada własny dział badań i rozwoju, zajmujący się opracowywaniem i testowaniem nowych materiałów. Ponadto, dział ten wykonuje i nadzoruje badania nowych wyrobów w celu dopuszczenia ich do obrotu i uzyskania niezbędnych certyfikatów. Badania przeprowadzane są pod kątem możliwości wdrożenia do produkcji nowych wyrobów, a także podnoszenia trwałości i jakości materiałów.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



PRAKTYKI W CENTRUM BADAŃ I TECHNOLOGII RADIACYJNYCH IChTJ

Czworo studentów odbywało praktyki w Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych IChTJ. Zapoznali się oni z pracą jedynej w Polsce przemysłowej stacji sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych, przeszczepów, farmaceutyków i kosmetyków. Zainstalowany tam akcelerator elektronów wykorzystywany jest również do badań naukowych. Unikatową cechą technik radiacyjnych jest możliwość np. dezynsekcji i dezynfekcji dużej liczby obiektów w krótkim (ekspresowym) czasie lub modyfikacji struktury polimerów w dowolnej temperaturze (najczęściej pokojowej). Temat aktualny między innymi w konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym, gdyż promieniowanie jonizujące można wykorzystywać do radiacyjnej dezynsekcji i dezynfekcji dokumentów oraz zbiorów bibliotecznych. Od kilkunastu lat zaczęto również stosować wiązkę elektronów do wyjąłowania przesyłek pocztowych, chroniąc się w ten sposób przed ewentualnym atakiem bakteriologicznym. Jednym z tematów był ochronny wpływ ligniny na procesy radiolizy celulozy. Za pomocą chromatografii gazowej określono wpływ ligniny na wydajności wydzielanego wodoru i postradiacyjnie pochłoniętego tlenu. Procesy degradacji papieru zbadano za pomocą DRS (spektroskopii absorpcyjnej w wersji odbiciowej światła rozproszonego). W badaniach wykorzystano akcelerator elektronów Elektronika 10/10 i kobaltowe źródło promieniowania gamma GC 5000. Zwrócono uwagę na unikatowe cechy obróbki radiacyjnej materiałów. Wiele procesów, które w klasycznej chemii przebiegają przy skrajnych parametrach technologicznych w chemii radiacyjnej można przeprowadzić w temperaturze pokojowej. Duże nadzieje wiąże się obecnie z modyfikacją za pomocą promieniowania jonizującego tworzyw polimerowych. Praktykanci badali radiolizę polimerów biodegradowalnych w kontekście ich wykorzystania w produkcji opakowań. Studenci zapoznali się z podstawowymi zagadnieniami odporności radiacyjnej polimerów w kontekście sterylizacji wyrobów medycznych jednorazowego użytku, z problematyką modyfikacji polimerów za pomocą promieniowania jonizującego, urządzeniami radiacyjnymi zainstalowanymi w IChTJ, sposobami dozymetrii i fizykochemicznymi metodami badania polimerów oraz procesów radiacyjnych.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



IX MIĘDZYNARODOWA WARSZAWSKA WYSTAWA WYNAŁAZKÓW IWIS 2015

W Auli Głównej Politechniki Warszawskiej w dniach 12-14 października 2015 r. odbyła się już 9. Międzynarodowa Warszawska Wystawa Wynalazków IWIS 2015. Wydarzenie to jak co roku organizowane jest przez Stowarzyszenie Polskich Wynalazców i Racjonalizatorów przy współpracy z Urzędem Patentowym RP i Politechniką Warszawską. Partnerami tej edycji wystawy byli: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa

Wyższego, Ministerstwo Gospodarki oraz Międzynarodowa Federacja Stowarzyszeń Wynalazczych IFIA, Marszałek Województwa Mazowieckiego, Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, Polska Akademia Nauk, Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, Rada Główna Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Konfederacja Lewiatan, Rada Główna Instytutów Badawczych i Naczelna Organizacja Techniczna – Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych. Wystawa objęta była Honorowym Patronatem Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej.



Fot. 1. Widok na wystawę w Gmachu Politechniki Warszawskiej

Podczas tegorocznej edycji Instytut Chemii i Techniki Jądrowej zgłosił do konkursu IWIS 2015 dwa wynalazki:

- „Sposób otrzymywania sferycznych ziaren trójtlenku itru” (Method for obtaining spherical grains of yttrium trioxide), twórcy: Wiesława Łada, Danuta Wawszczak, Andrzej Deptuła, Edward Iller, Leszek Królicki, Jerzy Ostyk-Narbutt.
- „Radiofarmaceutyk terapeutyczny znakowany radionuklidami radu oraz sposób jego wytwarzania” (Therapeutic radiopharmaceutical labelled with radionuclides of radium and method for its obtaining), twórcy: Agata Kasperek, Aleksander Bilewicz, Tadeusz Olczak.



Fot. 2. Dyplom i nagroda główna Grand Prix tegorocznej wystawy IWIS 2015

Nagroda Główna Grand Prix IWIS 2015 trafiła do rąk wynalazców z Pracowni Zoł- Żel Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej za opracowanie „Sposobu otrzymywania sferycznych ziaren trójtlenku itru”. Jest to pierwszy polski radiofarmaceutyk w postaci sferycznych ziaren do zastosowania w medycynie nuklearnej, w szczególności do walki z guzami nowotworowymi w wątrobie, zarówno pierwotnymi jak i przerzutowymi.

Międzynarodowe jury postanowiło dodatkowo uhonorować ten wynalazek platynowym medalem IWIS 2015.



Fot. 3. Dyplom ze zdjęciem platynowego medalu

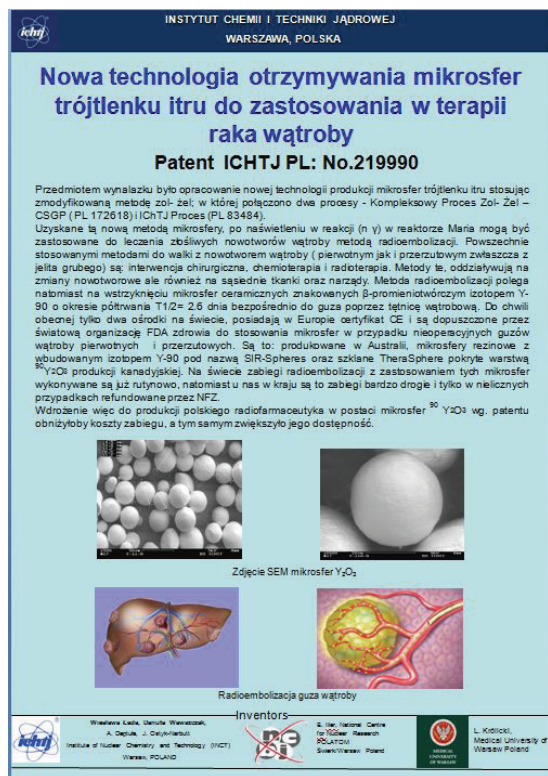
Drugie rozwiązanie prezentowane przez Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, „Radiofarmaceutyk terapeutyczny znakowany radionuklidami radu oraz sposób jego wytwarzania”, również zdobyło uznanie kapituły oraz zagranicznych gości. Patent ten został wyróżniony srebrnym medalem IWIS 2015 oraz specjalnym medalem nadanym przez Państwową Agencję Własności Intelktualnej Mołdawii AGEPI.



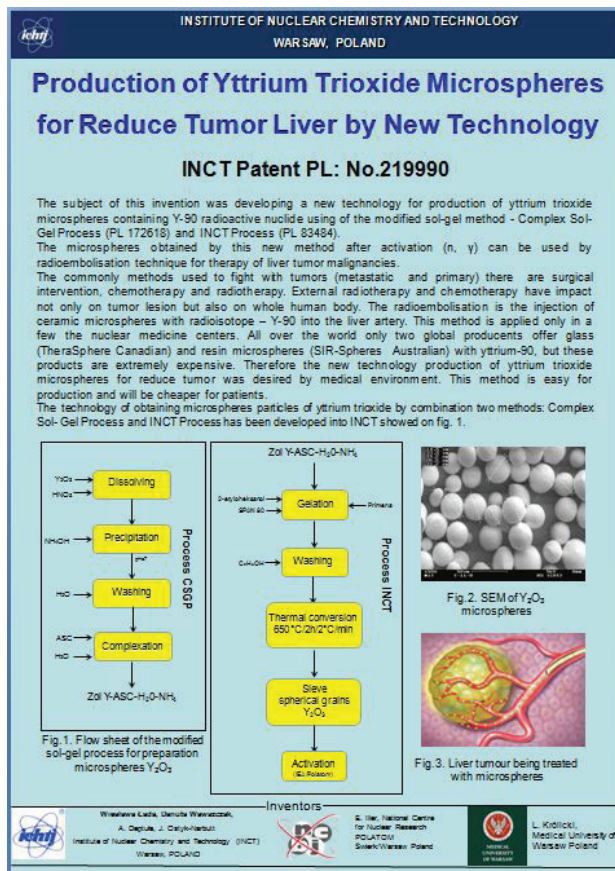
Fot. 4. Wynalazcy nagrodzeni platynowymi medalami z jurorami wystawy



Fot. 5. Mgr Wiesława Łada ze statuetką Grand Prix po odbiorze w imieniu wynalazców głównej nagrody z rąk prezesa SPWIR prof. Michała Szoty



Fot. 6. Poster nagrodzonego wynalazku w języku polskim



Fot.7. Poster nagrodzonego wynalazku w języku angielskim

Redakcja PTJ



URODZINY MARI SKŁODOWSKIEJ-CURIE; OCHOCKI PANTEON SŁAWY

„Urodziłam się w Warszawie, w rodzinie profesorskiej, wysłałam za mąż za Piotra Curie i miałam dwoje dzieci, dzieło moje naukowe wykonałam we Francji”. Wszyscy znamy te słowa Marii Skłodowskiej-Curie na temat jej pochodzenia i dokonań. Przyszła na świat 7 listopada 1867 r. w kamienicy przy ul. Freta 16 w Warszawie. Wtedy była to po prostu dla najbliższych, rodziców, dziadków, rodzeństwa, radosna chwila z powodu przyjścia na świat kolejnego dziecka. Nikt wtedy nie miał pojęcia, kim będzie ta mała dziewczynka, nazywana w domu „Anciupcio”. Dziś, po 148 latach obchodzimy rocznicę urodzin dwukrotnej noblistki, jednej z największych uczonych świata, odkrywczyni polonu i radu, pierwszej kobiety uhonorowanej nagrodą Nobla, jedynego uczzonego, któremu przyznano dwie nagrody Nobla, w różnych dziedzinach naukowych, pierwsza kobieta - profesor Sorbony.... Można długo jeszcze wymieniać niezwykle osiągnięcia Jubilatki, ale przecież znamy je dobrze. Jej nazwiskiem nazwano krater na Marsie i piękne róże oraz powojniki, instytuty naukowe i stypendia, jej imię noszą projekty i nagrody naukowe. Jest patronką, wzorem, ikoną... Osoba, o której Albert Einstein powiedział, że była jedyną, której nie zepsuła sława.

Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie podjęło inicjatywę, którą podchwyciły władze dzielnicy Ochota oraz szkoły i warszawiacy. „Podziękujemy Marii Skłodowskiej-Curie za jej prace, oddanie, patriotyzm. Za to, że była i jaka była. Złożymy w dzień urodzin, 7 listopada kwiaty pod jej pomnikiem przy ul. Wawelskiej 15”.

6 listopada br., w wigilię urodzin Marii Skłodowskiej-Curie, delegacje władz dzielnicy Ochota oraz naszego Towarzystwa złożyły kwiaty pod pomnikiem uczzonej. Następnego dnia do naszych kwiatów dołączyły inne.

Na chodniku, przed Ratuszem dzielnicy Ochota, przy ul. Grójeckiej znajdują się dwie tablice tworzące Ochocki Panteon Sławy. Pierwsza poświęcona jest Ordonowi, druga Marii Skłodowskiej-Curie. Konstancy Julian Ordon urodził się 15.10.1810 r. w Warszawie, był oficerem wojska polskiego, żołnierzem Powstania Listopadowego. W czasie obrony Warszawy dowodził baterią artylerii w reducie nr 54, która została wysadzona. Adam Mickiewicz opisał w wierszu *Reduta Ordon* jego śmierć, ale była to licentia poetica. Ordon bowiem nie zginął, był tylko poparzony. Zmarł we Florencji w 1887 r. Ponieważ władze rosyjskie nie zgodziły się na jego pochówek na cmentarzu ewangelicko-augsburskim w Warszawie, pochowano go na Cmentarzu Łyczakowskim we Lwowie, w Alei Zasłużonych. Pozostałości po Reducie Ordon znajdują się niedaleko ulicy Na Batoryjce, na tyłach galerii Blue City. Obecnie teren ten objęty jest badaniami archeologicznymi, choć jego los jest dramatycznie zagrożony planowaną w tym miejscu inwestycją budowlaną.

Drugiej postaci w Ochockim Panteonie Sławy nie będę opisywać. Powód, dla którego umieszczono w tym miejscu tablicę poświęconą Marii Skłodowskiej-Curie jest dość oczywisty. To tu 90 lat temu rozpoczęła się budowa Instytutu Radowego, to nieopodal, przy ul. Wawelskiej 15 w roku 1932 otwarto drugą po Paryżu, tak nowoczesną placówkę leczenia nowotworów, to w nim przygotowano mieszkanie dla jego twórczyni. To tu wreszcie, działa obecnie Centrum Onkologii

im Marii Skłodowskiej-Curie (większa część pracuje na Ursynowie). Trzeba też dodać, że całkiem blisko przy ul. Pasteura znajduje się Wydział Chemii UW oraz naukowy chemiczno-biologiczno-fizyczny kampus uniwersytecki.

10 listopada br., burmistrz Dzielnicy Ochota, Pani Krystyna Łęgiewicz w obecności władz dzielnicy, przedstawicieli Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie, zaproszonych gości i młodzieży z ochockich szkół, odsłoniła wmurowaną w chodnik tablicę.



Fot. 1. Delegacja Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie i Dzielnicy Ochota/delegation of the Society of Maria Skłodowska-Curie in Tribute and representatives of the district Ochota (fot. E. Sidor)



Fot. 2. Kwiaty pod pomnikiem uczzonej na skwerze przy ul. Wawelskiej/flowers at the monument of Maria Skłodowska-Curie in the square Street Wawelska 15 (fot. A. Rupińska)



Fot. 3. Tablica wmurowana w trotuar przed Ratuszem Dzielnicy Ochota poświęcona Marii Skłodowskiej-Curie/ the plaque embedded in the sidewalk in front of City Hall Ochota district dedicated to Maria Skłodowska-Curie (fot. Małgorzata Sobieszczak-Marciniak)



PROMIENIOWANIE. SCENY Z ŻYCIA MARI SKŁODOWSKIEJ-CURIE

27 listopada br. w Mazowieckim Instytucie Kultury przy ul. Elektoralnej w Warszawie, obejrzałam monodram Ewy Wencel pt. *Promieniowanie. Sceny z życia Marii Skłodowskiej-Curie*. Zespół, który przygotował spektakl, w osobach J. Sokół, W. Stefaniak (scenografia), D. Roqueplo (kostiumy), T. Bajerski (muzyka), E. Wencel, J. Cywińska (produkcja), B. Kaczalski (światło) i odtwórczyni roli Marii Skłodowskiej-Curie – Ewa Wencel zapowiadał bardzo dobre przedstawienie. Nie zawiodłam się. Pierwsze sceny, pierwsze słowa i pierwsze gesty E. Wencel przyniosły ogromny ładunek emocjonalny i bardzo głębokie zaangażowanie widza. Niezwykle prosta, skupiająca uwagę scenografia, łącząca na jednej płaszczyźnie laboratorium uczzonej i pokój (pokoje), w których rozgrywają się sceny z życia Marii Skłodowskiej-Curie, pozwoliła widzowi przez niemal 120 min. być tuż obok bohaterów sztuki. Przedstawienie zamykane jest „klamrami kamieni”, to pierwszy i ostatni kamień, który wpadła do mieszkania uczzonej po tym jak afera Langevina ujrziała światło dzienne. Pomiędzy nimi życie uczzonej, kobiety, matki, człowieka. Kilkaście lat wyrzeczeń, pracy naukowej, miłości, szczęścia, cierpienia, łez i samotności; ale też dumy i poczucia wolności. Tytułowe sceny z życia, to też kamienie, tyle, że miłowe; przyjazd do Paryża na studia, obrona pracy doktorskiej, poznanie Piotra Curie, życie rodzinne, praca w laboratorium, cudowne wykradanie naturze jej tajemnic, szczęście i radość z podpatrywania nieznanego. Wreszcie śmierć i samotność, a w tle chęć do dalszego życia, tak krytykowane dążenie do jeszcze jednej próby, do jeszcze jednej miłości, do jeszcze jednego doznania. I różne role odtwarzane przez uczoną, jak przez każdego z nas, studentki, żony, matki, uczzonej, kochanki.

Jednak nie ma w tej sztuce przesadnej egzaltacji, choć jej ładunek emocjonalny jest bardzo silny, nie ma łzawych i banalnych scen czy słów. Jak piszą w opisie spektaklu jego twórcy, jest to rzecz o kobiecie, która miała odwagę zachwiać światem mężczyzn, wdrzeć się do otoczonego murem królestwa „nieśmiertelnych”, sama przy tym odnosząc ciężkie straty. Jest to także rzecz, silnie, choć nie w całości oparta na faktach, co moim zdaniem jest niezwykle ważne i trudne w tego typu przekazie.



Fot. 1. PROMIENIOWANIE Sztuka o Marii Skłodowskiej-Curie

Polecam tę sztukę całym sercem, można ją było obejrzeć jeszcze w grudniu, a także w Mazowieckim Instytucie Kultury przy ul. Elektoralnej 12.



Fot. 2. Scenografia do sztuki (fot. E.Sidor)

*Małgorzata Sobieszczak-Marciniak,
prezes Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie,
Warszawa*



SUKCESY MSC

Maria Skłodowska-Curie to polska odmiana powojnika o zawsze pełnych (po całkowitym rozwinięciu półpełnych), kulistych lub półkulistych, białych kwiatach, które pojawiają się obficie w czerwcu i lipcu. Została ona wyhodowana przez Szczepana Marczyńskiego. Uroczystości nadania imienia uczzonej odbyły się w roku 2011 z okazji obchodów 100 rocznicy przyznania Marii Skłodowskiej-Curie II nagrody Nobla. W sprzedaży odmiana znalazła się jednak dopiero 15 marca 2014 r. Staramy się śledzić losy tej pięknej odmiany Clematisa. Z przyjemnością informujemy, że otrzymała ona szereg nagród na międzynarodowych targach i wystawach: główna nagroda prasowa (Press Prize) na wystawie Plantarium 2014, Holandia; brązowy medal na wystawie Plantarium 2014, Holandia; złoty medal na Flowers Expo 2014, Moskwa; złoty medal w kategorii jakość roślin na Flowers Expo 2015, Moskwa. Została ona również zakupiona przez Ogród Botaniczny w Shanghaju.

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



NAGRODY POLSKIEGO TOWARZYSTWA NUKLEONICZNEGO

Polskie Towarzystwo Nukleonczne (PTN) rozstrzygnęło kolejny konkurs na najlepsze prace doktorskie, magisterskie, inżynierskie i licencjackie związane tematycznie z atomistyką (wykorzystaniem zjawisk, procesów i technik jądrowych, ekonomiką i odbiorem społecznym zastosowań energetyki jądrowej itp.). W konkursie wzięły udział prace obronione w latach 2014/2015.

O przyznaniu nagród zdecydowała powołana przez Zarząd Główny PTN Komisja Konkursowa w składzie: prof. dr hab. Krzysztof Wieteska (przewodniczący), dr Bożena Sartowska (koordynator), prof. dr hab. Grażyna Zakrzewska, prezes PGE EJ 1 sp. z o.o. Jacek Cichosz, prof. dr hab. Andrzej G. Chmielewski, prof. dr hab. Stefan Chwaszczewski oraz dr Nikolaï Uzunow.

Kapituła w swojej ocenie wzięła pod uwagę oryginalność i nowatorstwo rozwiązań technicznych, technologicznych oraz organizacyjnych, a także walory poznawcze nadesłanych prac.

Nagrody były oceniane w czterech kategoriach: energetyka jądrowa, zastosowania medyczne technik nuklearnych, technologie radiacyjne, inne prace tematycznie nawiązujące do problematyki korzyści i zagrożeń związanych z wykorzystaniem technik jądrowych. Partnerem konkursu była PGE EJ 1 sp. o.o. oraz portal informacyjno-edukacyjny „Świadomie o atomie”.

Prace doktorskie

II Nagroda. Dr inż. Mikołaj OETTINGEN, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Validation of fuel burnup modelling with MCB Monte Carlo system using destructive assay data from Ohi-2 PWR, Promotor: dr hab.inż. Jerzy CETNAR.

III Nagroda. Dr inż. Magdalena ORSZULIK, Politechnika Śląska, Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki, Instytut Techniki Ciepłej, Modelowanie procesów rozprzestrzeniania się wybranych czynników obudowie bezpieczeństwa reaktora PWR po awarii LOCA. Promotor główny: prof. dr hab. inż. Jan SKŁADZIEN, promotor pomocniczy: dr inż. Adam FIC.

Prace magisterskie

I Nagroda. Mgr inż. Iwona PACYNIĄK, Politechnika Warszawska, Wydział Fizyki, specjalność Fizyka Medyczna, Biologiczna ocena dawek mieszanego promieniowania jonizującego z zastosowaniem metod statystyki bayesowskiej. Pod kierunkiem: dr Marii KOWALSKIEJ oraz prof. dr hab. Jana PLUTY.



Fot. 1. Laureatka nagrody mgr inż. Iwona PACYNIĄK z dyplomem, w śródku. Z lewej strony opiekunowie pracy (dr Maria Kowalska i prof. Jan Pluta). Z prawej Sekretarz Generalny PTN dr Wojciech Głuszewski

III Nagroda. Mgr inż. Paulina BŁASZKIEWICZ, Politechnika Poznańska, Wydział Technologii Chemicznej, Materiały na pojemniki i osłony przed promieniowaniem jonizującym. Promotor: dr inż. Wiesław GORĄCZKO.

III Nagroda. Patryk STRĘCIWILK, Politechnika Warszawska, Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Zakład Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Evaluation of Performance of a New Modeling Tool to Monitoring Thermal Efficiency in EDF's Nuclear Power Plant. Promotor: dr inż. Nikola Uzunow.

Prace licencjackie

I Nagroda. Gawel MADEJOWSKI, Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, kierunek Energetyka i Chemia Jądrowa, Weryfikacja poprawności modelu numerycznego reaktora MARIA w kodzie MCNP z wykorzystaniem aktywacyjnych pomiarów neutronowych. Pod kierunkiem: dr Rafała PROKOPOWICZA (NCBJ) oraz dr Agnieszki KORGUL (WF UW).

III Nagroda. Monika SZOŁUCHA, Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, kierunek Energetyka i Chemia Jądrowa, Charakterystyki neutronowe rdzenia reaktora MARIA. Analiza modelem dyfuzyjnym. Pod kierunkiem: dr Zuzanny MARCINKOWSKIEJ (NCBJ) oraz dr Agnieszki KORGUL (WF UW).

Nagrody (dyplom + przekaz pieniężny) zostały wręczone w trakcie inauguracji roku akademickiego 2015/2016. Nagrody przekazali członkowie Zarządu Głównego PTN: prof. dr hab. Andrzej G. Chmielewski (Wydział Chemii, Uniwersytet Warszawski), dr inż. Wiesław Gorączko (Wydział Technologii Chemicznej, Politechnika Poznańska), dr inż. Zbigniew Zimek (Wydział Mecha-

niczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska), dr inż. Wojciech Głuszewski (Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska). Uroczystość na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie odbyła się 14 października br. w czasie Uroczystego posiedzenia Senatu z okazji Dnia Edukacji Narodowej. Na Politechnice Śląskiej nagroda została przekazana w czasie posiedzenia Rady Naukowej Wydziału Inżynierii Środowiska i Energetyki, Instytutu Techniki Ciepłej.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POLSKIE NOBLE 2015

Laureatami Nagrody Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej zostało w tym roku trzech wybitnych uczonych: prof. Stanisław Penczek, prof. Kazimierz Rzażewski i prof. Jerzy Jedlicki. Nagroda ta cieszy się opinią najważniejszego wyróżnienia naukowego w Polsce i popularnie nazywana jest Polskim Noblem. Nagrody Fundacji są przyznawane za szczególne osiągnięcia i odkrycia naukowe, które przesuwają granice poznania i otwierają nowe perspektywy poznawcze, wnoszą wybitny wkład w postęp cywilizacyjny i kulturowy naszego kraju oraz zapewniają Polsce znaczące miejsce w podejmowaniu najbardziej ambitnych wyzwań współczesnego świata. Wysokość nagrody wynosi 200 tys. zł.

Prezentujemy krótkie informacje o laureatach.

Prof. Stanisław Penczek z Centrum Badań Molekularnych i Makromolekularnych PAN w Łodzi otrzymał Nagrodę Fundacji na rzecz Nauki Polskiej 2015 w obszarze nauk chemicznych i o materiałach za opracowanie teorii polimeryzacji z otwarciem pierścienia i jej wykorzystanie do syntezy polimerów biodegradowalnych. Procesowi polimeryzacji z otwarciem pierścienia ulegają związki heterocykliczne, a w jego wyniku powstają m.in. biodegradowalne polimery zawierające w łańcuchu głównym takie heteroatomy jak atom tlenu, azotu lub fosforu. Pierwszych odkryć w tej dziedzinie prof. Stanisław Penczek dokonał już w 1976 r. Od tamtej pory konsekwentnie prowadził szczegółowe badania naukowe zmierzające do poszerzenia wiedzy o kolejne aspekty tego procesu – mechanizmy reakcji, schemat kinetyczny, towarzyszące mu przemiany termodynamiczne. Wiedzę teoretyczną zastosował również do syntezy biodegradowalnych polimerów mających znaczenie dla przemysłu. Prof. Penczek wynalazł w tej dziedzinie nową klasę katalizatorów bardziej efektywnych od katalizatorów stosowanych wcześniej. Wiedza o procesach podstawowych w polimeryzacji z otwarciem pierścienia stała się podstawą do opracowania fragmentów technologii produkcji polimerów biodegradowalnych. Są to polimery pochodne kwasu mlekowego, należącego do produktów otrzymywanych z surowców odnawialnych. Znajdują one przede wszystkim zastosowanie w biomedycynie, w lekach o przedłużonym działaniu, a ostatnio także zostały zastosowane do otrzymywania biodegradowalnych stentów. Opracowane przez prof. Stanisława Penczka zasady polimeryzacji należą do istotnych osiągnięć w chemii polimerów. Elementy opracowanej teorii mają wpływ na inne dziedziny chemii polimerów i znalazły się w większości opracowań monograficznych oraz światowych podręcznikach akademickich, a sam profesor jest uznanym w świecie autorytetem w tej dziedzinie.

Prof. Kazimierz Rzażewski z Centrum Fizyki Teoretycznej PAN wyróżniono w obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich za odkrycie zjawiska magnetostrykcji w ultra-zimnych gazach z oddziaływaniem dipolowym. Laureat może poszczycić się nowatorskim wkładem w rozwój fizyki zimnych gazów atomowych, a w szczególności odkryciem sposobu, w jaki wewnętrzne pola magnetyczne regulują i kształtują objętość chmur dipolowych w tych gazach. Jest autorem przełomowej publikacji z 2000 r., w której po raz pierwszy przewidziano zjawisko magnetostrykcji (czyli zmiany kształtu i objętości chmury atomowej w związku z wewnętrznymi siłami magnetycznymi)

w ultra zimnych gazach dipolowych. Później zostało to potwierdzone w licznych badaniach eksperymentalnych, najpierw nad skondensowanym gazem chromowym, a następnie nad innymi kondensatami. Odkryte zjawisko magnetostrykcji w kondensacie dipolowym było nie tylko pierwszym takim zjawiskiem wykazanym w gazie kwantowym, ale także pierwszym odkryciem mechanicznego zjawiska anizotropowego w jakimkolwiek gazie. Prof. Kazimierz Rzążewski jest dziś jednym z najbardziej wpływowych europejskich naukowców w dziedzinie optyki kwantowej i jedną z najważniejszych osobistości w dziedzinie ultra zimnych gazów atomowych. Położył podwaliny pod rozwój tej dyscypliny, dlatego dziś uznawany jest na arenie międzynarodowej za badacza, który pomógł jej zaistnieć i ją ukształtować. Jego badania, które zaowocowały produkcją na żądanie ultra zimnych gazów, otwierają wiele nowych możliwości w dziedzinie metrologii (określanie dokładnego czasu i częstotliwości).

Prof. Jerzy Jedlicki z Instytutu Historii im. Tadeusza Manteuffla PAN w Warszawie odebrał nagrodę w obszarze nauk humanistycznych i społecznych za fundamentalne studia nad fenomenem inteligencji jako warstwy społecznej i jej rolą w procesach modernizacji w Europie Środkowo-Wschodniej. Dzieje inteligencji polskiej do roku 1918 to pierwsze pełne opracowanie problemu o zasadniczym znaczeniu dla poznania i zrozumienia dziejów politycznych, społecznych i kultury epoki porzeczności. Studia zawierają wszechstronną i przekonującą interpretację tego, co faktycznie przedstawiała inteligencja jako zjawisko społecznej i intelektualnej historii modernizacji europejskiej: praktycznie w całej Europie nowo powstające warstwy profesjonalistów wykształconych na uczelniach wyższych odgrywały znaczącą rolę w kształtowaniu nowoczesnego społeczeństwa w XIX wieku; jednakże tym, co szczególnie charakteryzowało inteligencję (wschodnich) obrzeży Europy, było to, że jej członków łączył nie tylko ten sam profil społeczny, ale również wspólne poczucie zaangażowania w moralne zadanie „odnowy” społecznej – poprzez przekonanie, że pełnią rolę „misjonarską” w walce o nowoczesną cywilizację, łącznie z wolnością narodową i polityczną. W tym sensie inteligencja była, jak przekonuje prof. Jedlicki, nie tylko fenomenem społecznym, ale, co ważniejsze, rodzajem intelektualnego ideału i mitem – co stanowiło o ogromnym wpływie tej koncepcji na intelektualną historię Europy. Praca ta była bodźcem do rozpoczęcia szerokiej i wyjątkowo ożywionej nowej debaty o ośrodku i peryferiach w historii modernizacji europejskiej, a także do nowej debaty o polskiej inteligencji i jej roli w okresie „Solidarności” i późniejszym. Wpływ tej i innych prac prof. Jerzego Jedlickiego sięga daleko poza granice Polski, czyniąc z Profesora jednego z najbardziej innowacyjnych i inspirujących historyków Europy.

W obszarze nauk o życiu i o Ziemi w 2015 r. Nagrody nie przyznano.

Kandydatów do Nagrody FNP, zgodnie z jej regulaminem, zgłaszać mogą wybitni przedstawiciele nauki zaproszeni imiennie przez Zarząd i Radę Fundacji. Rolę Kapituły konkursu pełni Rada Fundacji, która dokonuje wyboru laureatów na podstawie opinii niezależnych recenzentów i ekspertów oceniających dorobek kandydatów. W skład Rady w obecnej kadencji wchodzi profesorowie: Andrzej Jerzmanowski (Wydział Biologii UW i Instytut Biochemii i Biofizyki PAN) – przewodniczący Rady, Irena E. Kotowska (Instytut Statystyki i Demografii SGH) – wiceprzewodnicząca Rady, Leon Gradoń (Wydział Inżynierii Chemicznej i Procesowej Politechniki Warszawskiej), Henryk Koroniak (Wydział Chemii UAM), Marek Światoński (Katedra Genetyki i Podstaw Hodowli Zwierząt Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu), Wojciech Tygielski (Instytut Historii Sztuki, Wydział Historyczny UW), Karol I. Wysocki (Zakład Teorii Fazy Skondensowanej UMCS).



W LUKSEMBURGU O RYZYKU RADIOLOGICZNYM

The European Commission is pleased to invite you to its forthcoming scientific seminar, entitled "Risk communication". Tak rozpoczynało się pismo zapraszające niżej podpisanego do udziału w jednodniowym seminarium odbywającym się w Luksemburgu.

Seminarium stanowiło część programu jesiennego Spotkania Plenarnego naukowych ekspertów, o który zawiera art. 31 Traktatu Euratom. Jak wiadomo obecnie jednym z najważniejszych zadań Traktatu jest stworzenie wspólnotowych ram zapewniających wysoki poziom bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej poprzez m.in. wymianę informacji i doświadczeń między państwami członkowskimi oraz promowanie badań dotyczących bezpieczeństwa jądrowego.

Wspomniany art. 31 Traktatu Euratom brzmi następująco: „Podstawowe normy opracowuje Komisja po uzyskaniu opinii grupy osób wyznaczonych przez Komitet Naukowo-Techniczny spośród ekspertów naukowych, zwłaszcza w dziedzinie zdrowia publicznego, z Państw Członkowskich. Komisja uzyskuje opinię Komitetu Ekonomiczno-Społecznego odnośnie do tych norm.

Po konsultacji z Parlamentem Europejskim Rada, stanowiąc większością kwalifikowaną na wniosek Komisji, która przekazuje jej zebrane przez siebie opinie tych komitetów, ustanawia normy podstawowe”.

Przypomnijmy, że polskimi ekspertami naukowymi z zakresu ochrony radiologicznej są prof. Paweł Olko i dr Paweł Krajewski i to oni wskazali piszącego tę notę jako „a person in a position to contribute to the discussions relevant to the topics of the seminar”.

Seminarium odbywało się w jednym z hoteli znajdujących się w części miasta Luksemburg zwanej *Quartier Européen Nord*, chyba najbardziej i najszybciej rozwijającej/rozbudowującej się dzielnicy tego miasta. Miejsce obrad nie spełniało jednak, pewnych standardowych warunków (kształt i rozmiary sali, nagłośnienie, dostęp do mikrofonu przez dyskutantów).

Program seminarium obejmował, między innymi, prezentacje na następujące tematy:

1. Percepcja ryzyka radiacyjnego: rozbieżność między ekspertami a ludnością;
2. Komunikowanie o ryzyku osobom pracującym w warunkach narażenia na promieniowanie;
3. Komunikowanie o ryzyku w sytuacji terroryzmu radiologicznego;
4. Komunikowanie o ryzyku przez nowe media;
5. Zaangażowanie interesariuszy w proces komunikowania o ryzyku.

W końcowej części seminarium odbyła się dyskusja okrągłego stołu na temat implikacji politycznych i potrzeb badawczych związanych z komunikowaniem o ryzyku radiacyjnym.

Autorami prezentacji i uczestnikami dyskusji okrągłego stołu byli eksperci z Belgii, Szwecji i Zjednoczonego Królestwa.

Przesuwając ewentualne omówienie merytorycznej zawartości prezentacji i konkluzji do czasu ukazania się materiałów seminarium warto wspomnieć o pewnym anegdotycznym incydencie, jaki miał miejsce podczas dyskusji. Niżej podpisany zapytał autorkę wystąpienia zatytułowanego *Risk communication and new media*, dlaczego w jej prezentacji nie było właściwie nic o **nowych mediach**, a jedynie o **mediach** klasycznych, głównie o prasie? Indagowana ekspertka odpowiedziała, że ona zgłosiła prezentację na temat *Risk communication and news media*. To nie jej wina, że ktoś błędnie zapisał temat prezentacji w programie seminarium.

Stanisław Latek



WSPOMNIENIE O PROF. DR HAB. JANUSZU WILCZYŃSKIM (1938-2015)



Fot.1. Prof. Wilczyński podczas wycieczki po zatoce Arcachon (Francja) w 2009 r.

Prof. dr hab. Janusz Wilczyński urodził się 27 sierpnia 1938 r. w Gnieźnie. Wkrótce jednak, razem z rodzicami, siostrą i bratem, przeniósł się do Częstochowy, gdzie spędził dzieciństwo i lata młodości, aż do matury. Maturę otrzymał w Liceum im. Henryka Sienkiewicza w Częstochowie w roku 1956.

W tym samym roku podjął studia na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego, który ukończył w 1961 r. Już tematyką pracy magisterskiej wyznaczył sobie kierunek przyszłej kariery naukowej: doświadczalna fizyka jądrowa. Po studiach podjął pracę na Uniwersytecie Jagiellońskim prowadząc, pod kierunkiem profesorów Henryka Niewodniczańskiego i Adama Strzałkowskiego, badania rozpraszania deuterionów na lekkich jądrach atomowych.

W latach 1963-1966 przebywał na stażu naukowym w Laboratorium Reakcji Jądrowych (w grupie prof. W.W. Wołkowa) Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej. Przeprowadził tam cykl badań nad procesami przekazu pojedynczego nukleonu w reakcjach z ciężkimi jonami. Były to jedne z pierwszych prac w rozwijającej się wówczas dziedzinie badań mechanizmu reakcji ciężko-jonowych. Wyniki tych prac stały się podstawą jego rozprawy doktorskiej, którą obronił na Uniwersytecie Jagiellońskim w 1967 r. Promotorem pracy był prof. Henryk Niewodniczański, twórca krakowskiego ośrodka fizyki jądrowej, zarówno na Uniwersytecie Jagiellońskim, jak i w utworzonym przez Niego Instytucie Fizyki Jądrowej w Bronowicach, który obecnie nosi Jego imię. W roku 1966, Janusz Wilczyński został zatrudniony w Instytucie Fizyki Jądrowej.

Rok 1967 był ważny w życiu Janusza Wilczyńskiego nie tylko ze względu na uzyskanie doktoratu. Podczas zorganizowanej w tym roku w Krakowie międzynarodowej konferencji jądrowej poznał on Krystynę Siwek-Diaament i jeszcze w tym samym roku zawarli związek małżeński. Dla pani Krystyny był to podwójny wybór: oprócz wyboru męża, wybór nowej tematyki badań naukowych – właśnie tej uprawianej przez męża. Od tego czasu, wiele staży odbyli razem i wiele badań przeprowadzili wspólnie.

Drugi staż w ZIBJ (w latach 1967-72) zaowocował odkryciem, wspólnie ze współpracownikami, nowej klasy procesów w reakcjach z ciężkimi jonami, mianowicie procesów głęboko-nieelastycznych. Prof. Wilczyński dokonał tu bardzo obszernych pomiarów zależności energetycznych i kątowych dla przekrojów czynnych odpowiadających różnym kanałom reakcji głęboko-nieelastycznej. Głęboko-nieelastyczne procesy wykorzystał także do otrzymania nieznanych uprzed-

nio nuklidów. Odkrył mianowicie około trzydziestu nowych izotopów pierwiastków od azotu do chloru. Były to izotopy o dużym nadmiarze neutronów, otrzymane na drodze wielonukleonowego przekazu.

Charakterystyczne dla prac Wilczyńskiego jest to, że razem z badaniem doświadczalnym prowadził bardzo ambitne, oryginalne i twórcze badania interpretacyjne. Miały one na celu poznanie mechanizmu reakcji ciężko-jonowych. Na przykład, analizując ograniczenia dla przekroju czynnego na tworzenie jądra złożonego, wprowadził on pojęcie „siły kontaktowej”, tj. siły przyciągania jądrowego w sytuacji, gdy stykają się one powierzchniami. Przeprowadzone przez niego oszacowania tej siły na podstawie modelu kropłowego dały bardzo dobre wyniki na krytyczny moment pędu. Pojęcie siły kontaktowej stało się punktem wyjścia dla dokonanego następnie (przez W.J. Świąteckiego i współpracowników w Berkeley) uogólnienia na tzw. siły zbliżenia lub potencjał zbliżenia (proximity potential), bardzo szeroko używanego do dzisiaj w fizyce jądrowej.

Bardzo także oryginalna i twórcza była interpretacja reakcji głęboko-nieelastycznej za pomocą klasycznej funkcji odchylenia, odpowiadającej przypadkowi występowania sił nieza-chowawczych. W interpretacji tej prof. Wilczyński mógł ściśle powiązać dyssypację energii kinetycznej ruchu względnego z kątem odchylenia. Bardzo pomocny był tu sporządzony po raz pierwszy przez niego dwuwymiarowy wykres podwójnego różniczkowego przekroju czynnego w funkcji energii i kąta wy-lotu danego produktu reakcji. Wykres ten wszedł do literatury światowej pod nazwą „wykresu Wilczyńskiego”.

I tak było we wszystkich jego stażach naukowych: w ZIBJ (1963-66 i 1967-72), w Instytucie Nielsa Bohra w Kopenhadze (1972-74), w Instytucie de Physique Nucleaire w Orsay (1976), w Kernfysisch Versneller Instituut w Groninger (1977-79, 1989-91), w National Superconducting Cyklotron Laboratory w East Lansing (USA) oraz w Lawrence Berkeley National Laboratory w Berkeley (USA) (1984-86). Osiągnięty w czasie tych staży materiał doświadczalny, w dużej części opracowywał w kraju. Wiele z tych opracowań weszło do światowego kanonu fizyki reakcji z ciężkimi jonami. W roku 1980 przeniósł się do Instytutu Problemów Jądrowych w Świerku.

Prof. Wilczyński opublikował ponad 160 prac, w większości w głównych, bardzo dobrych czasopismach poświęconych fizyce jądrowej. Były one cytowane około 3.500 razy i nadal są cytowane. Indeks Hirscha wynosi obecnie 31. Dużą część tych prac wykonał wspólnie z małżonką, prof. Krystyną Siwek-Wilczyńską. Swoje, liczne referaty wygłaszał prostym, przystępnym, a jednocześnie precyzyjnym językiem.

Otrzymał wiele nagród i wyróżnień, m.in. indywidualną nagrodę Polskiego Towarzystwa Fizycznego (PTF) za prace w dziedzinie reakcji z ciężkimi jonami (1976), Nagrodę I stopnia (zbiorową) Rady Naukowej ZIBJ w Dubnej (1976), indywidualną Nagrodę II stopnia Państwowej Rady ds. Wykorzystania Energii Jądrowej (1978), Złoty Krzyż Zasługi (1989), Nagrodę PTF im. Wojciecha Rubinowicza (1992), Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (2015).

Prof. Wilczyński był jednym z najbardziej znanych na świecie polskich fizyków jądrowych.

Zmarł 22 października 2015 r. w Warszawie. Do końca życia zachował pełną sprawność umysłu pracując jeszcze w ostatnich dniach, wspólnie z żoną i doktorantem, nad ostatnią ich publikacją.

prof. dr hab. Adam Sobiczewski,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Warszawa

KONFERENCJA MĄDRALIN – 2015 WYBRANE ASPEKTY BEZPIECZEŃSTWA ELEKTROWNI JĄDROWEJ W POLSCE

Warszawa, 24-25 listopada 2015 roku



Otwarcie konferencji: V. Faudon i G. Zakrzewska-Kołodziej



Dyr. Zbigniew Kubacki (MG)



Dyr. Pierre Cordier (I2EN)



Wiceprezes Maciej Jurkowski (PAA)



Dyr. Tomasz Kwiatkowski (PGE EJ1)



Dr Małgorzata Świdorska (NCBR)



Uczestnicy panelu organizacji wsparcia technicznego (TSO)



Panel polsko-francuskiej współpracy naukowej



Dyr. Jean-André Barbosa (AREVA)



Dr Katarzyna Iwińska (Collegium Civitas)

KONFERENCJA MĄDRALIN – 2015

WYBRANE ASPEKTY BEZPIECZEŃSTWA ELEKTROWNI JĄDROWEJ W POLSCE

Warszawa, 24-25 listopada 2015 roku



Dr Krzysztof W. Fornalski (PGE EJ1)



Prof. Stefan Taczanowski (AGH)



Uczestnicy panelu przemysłowego: przemawia Adam Rozwadowski



*Zakończenie konferencji
– prof. Jan Składzień ogłasza wyniki konkursu plakatów*



Dyskutuje mgr Jacek Bauriski



Dr Paweł Krajewski i dr Maria Kowalska (CLOR)



mgr inż. Adam Rozwadowski i Katarzyna Udrycka



Prof. Mariusz Dąbrowski (NCBJ) i dyr. Marc-Gerard Albert (IRSN)



Dyr. Zbigniew Kubacki (MG) i dyr. Valerie Faudon (SFEN)



Uczestnicy konferencji



Dr A. Mikulski (PTN) i dr T. Wójcik (PTN)



Mgr E. Zalewska i prof. J. Niewodniczański

Szczegóły na stronie 44
(dotyczy KONFERENCJI Mądralin-2015)