

POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 57 Z. 2 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2014



Słowacka elektrownia jądrowa
Bohunice

2-2014

INSTYTUT CHEMII
I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

WYWIAD Z JANUSZEM WŁODARSKIM,
PREZESEM PAŃSTWOWEJ AGENCJI
ATOMISTYKI

Stanisław Latek 2

TRUDNE NOWE ZADANIA PRZED
INSTYTUCJAMI ODPOWIEDZIALNYMI
ZA ZAPEWNIENIE BEZPIECZEŃSTWA
JĄDROWEGO I OCHRONY
RADIOLOGICZNEJ W POLSCE

Paweł Krajewski 7

DEKONTAMINACJA CHEMICZNA SYSTEMÓW
PIERWOTNEGO OBIEGU CHŁODZĄCEGO
W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Monika Łyczko, Barbara Filipowicz,
Aleksander Bilewicz, Krzysztof Łyczko 10

REAKTORY JĄDROWE PRZYSZŁOŚCI
I LIKWIDACJA PROBLEMU
WYSOKOAKTYWNYCH ODPADÓW
PROMIENIOTWÓRCZYCH

Tomasz Denkiewicz 16

TECHNOLOGIA RADIACYJNA
W OCHRONIE ROŚLIN

Urszula Gryczka, Wojciech Migdał,
Magdalena Ptaszek, Leszek B. Orlikowski 23

POSTĘP W TECHNIKACH RADIACYJNYCH

Wojciech Głuszewski 27

SŁOWACKIE ELEKTRONIE JĄDROWE

Juraj Klepáč 29

DONIESIENIA Z KRAJU 30

DONIESIENIA ZE ŚWIATA 36

LISTY DO REDAKCJI 45

Z HISTORII POLSKIEJ ATOMISTYKI 46

IN MEMORIAM 52

KOMUNIKAT PRASOWY 56



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 Kuźniarski

Andrzej Mikulski

Marek Rabiński

Edward Rurarz

Elżbieta Zalewska

Redakcja:

PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

Opracowanie graficzne:

Agnieszka Milewska (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.

Prenumerata

Zamówienia na prenumeratę kwartalnika
POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

należy składać na adres redakcji jak wyżej.

Wpłaty proszę przekazać na konto:

Bank Pekao SA,

45 1240 3480 1111 0000 4278 2935

Koszt prenumeraty rocznej

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

Składając zamówienie należy

podać adres osoby lub instytucji

zamawiającej, na który ma być przesłane

czasopismo oraz numer NIP.

Skład i druk:

Agencja Reklamowa TOP,

ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek

Szanowni Państwo,

Nie bardzo wypada cytować samego siebie. Proszę mi jednak wybaczyć, że przytoczę swoje słowa zapisane we wstępnym tekście do poprzedniego numeru PTJ. Z nutą entuzjazmu napisałem: **długo oczekiwane przyjęcie przez Radę Ministrów Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) nastąpiło 28 stycznia 2014 r. Wypadałoby życzyć sobie: oby to była historyczna data! Oby nastąpił wreszcie okres rzeczywistych działań mających na celu realizację PPEJ.**

Niestety, moja - i nie tylko moja - radość trwała niedługo. 11 kwietnia 2014 r. opublikowano następujący komunikat: Hanna Trojanowska, w związku z wypełnieniem powierzonych jej zadań i decyzją prezesa Rady Ministrów, zakończyła pracę jako pełnomocnik rządu ds. polskiej energetyki jądrowej. Hanna Trojanowska odpowiadała za całokształt rozwoju i wdrażania energetyki jądrowej w Polsce. Przygotowała i przedstawiła Radzie Ministrów Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ). Sama minister powiedziała po odwołaniu: „Dziś, po blisko 5 latach pełnienia funkcji pełnomocnika i wykonaniu powierzonych mi zadań, odchodzę ze stanowiska w poczuciu, że nadany został właściwy kierunek rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Mimo tych słów wiele osób z naszego środowiska wyraża opinie, że po odejściu minister Hanny Trojanowskiej nic w naszej branży się nie dzieje.

Pierwszy tekst w niniejszym numerze zawiera zapis odpowiedzi Janusza Włodarskiego, prezesa Państwowej Agencji Atomistyki na pytania przygotowane przez redakcję PTJ. Wywiad jest obszerny, ponieważ dotyczy wielu różnych aspektów działalności agencji.

Aby zachęcić Państwa do lektury tej publikacji pozwolę sobie przytoczyć fragment odpowiedzi prezesa Janusza Włodarskiego na prośbę redakcji o skomentowanie doniesień w Internecie i pismach ekologicznych (Riviera, 26 kwiecień) przywołujących rzekomą wypowiedź prezesa PAA o tym, że „Nawet gdyby miała wydarzyć się taka katastrofa jak w Fukushima, Polska chce wdrożyć energetykę jądrową”. Ta wypowiedź miała się ukazać w oficjalnym magazynie wydawanym przez ambasadę RP w Tokio w styczniu br.

Prezes Janusz Włodarski stwierdza po pierwsze, że „Nigdy nie powiedziałem, że Polska chce wdrożyć energetykę jądrową „nawet gdyby w Polsce miała się wydarzyć taka katastrofa jak w Fukushima”. Ta wypowiedź nie ma sensu technicznego, bo katastrofa naturalna jaka miała miejsce w Fukushima nie może mieć miejsca w naszej części świata, a ponadto Polska nie będzie budować elektrowni jądrowej drugiej generacji.

Następnie prezes PAA dodaje, że: „oczywiście na wszystkie nadużycia reagujemy. Do redakcji magazynu „Riviera” wysłaliśmy sprostowanie, które notabene zostało opublikowane oraz tłumaczenie przysięgłe artykułu z magazynu „Rising Polska”, w którym zawarty jest poprawny cytat mojej wypowiedzi. W każdym z przypadków przytaczania zniekształconej wypowiedzi tak reagowaliśmy i będziemy tak robić, jeśli takie sytuacje się powtórzą”.

Dr Paweł Krajewski, dyrektor Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej jest autorem artykułu na temat zadań instytucji odpowiedzialnych za zapewnienie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce. Jedną z konkluzji artykułu brzmi następująco:

„Kluczem do sukcesu programu energetyki jądrowej będzie wysoka wiarygodność (extended credibility) krajowego zaplecza eksperckiego (TSO) m.in. wspomagającego: rządowe organy nadzoru, instytucje użytkujące i zarządzające obiektem jądrowym, tzw. interesariuszy (stakeholders), media i wreszcie ogół obywateli”.

„Dekontaminacja chemiczna systemów pierwotnego obiegu chłodzącego w elektrowniach jądrowych”. Tak brzmi tytuł artykułu zespołu autorów: Monika Łyczko, Barbara Filipowicz, Aleksander Biłewicz, Krzysztof Łyczko z Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej IChTJ.

W pierwszej części artykułu autorzy stwierdzają m.in.: „Nagromadzenie radioaktywnych zanieczyszczeń podczas pracy reaktora jądrowego skutkuje większym narażeniem obsługi na promieniowanie, zwłaszcza podczas wykonywania prac naprawczych lub inspekcji, gdyż niezależnie od stopnia automatyzacji, zawsze istnieje konieczność ingerencji człowieka. Zgodnie z zasadą ALARA (As Low As Re-

asonably Achievable), narażenie pracowników elektrowni jądrowej powinno być najmniejsze, jak to jest możliwe.

W dalszych częściach tekstu można przeczytać o różnych chemicznych procesach dekontaminacyjnych, ich zaletach i wadach.

Kolejny artykuł (Reaktory jądrowe przyszłości i likwidacja problemu wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych) przygotował dr Tomasz Denkiewicz z Uniwersytetu Szczecińskiego. Wspomniany artykuł zawiera próbę przedstawienia scenariuszy rozwoju energetyki jądrowej w przyszłości. Rekomenduję ten tekst zwłaszcza ludziom młodym, gdyż tylko młodzi mają szansę przekonania się, czy owe „reaktory przyszłości” rzeczywiście zostaną zbudowane. W postscriptum sam autor stwierdza: „Obszerna gałąź przemysłu jaką jest energetyka jądrowa cały czas się rozwija i ewoluuje, bez przerwy trwają prace nad usprawnieniami obecnie działających na skalę przemysłową technologii. Proponowane nowe technologie zrealizowane już w praktyce w skali badawczej, jak elektrownie IV generacji, czy powstające nowatorskie projekty, takie jak wspomniany wyżej Dual Fluid Reactor dają realną nadzieję na trwały udział energetyki jądrowej w miksie energetycznym w przyszłości i likwidację problemu wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych”.

Czworo autorów (Urszula Gryczka, Wojciech Migdał, Magdalena Ptaszek, Leszek B. Orlikowski) z IChTJ i Instytutu Ogrodnictwa przedstawia bardzo ciekawie zastosowanie technik radiacyjnych do ochrony roślin. Autorzy słusznie zauważyli, że zainteresowanie chorobami roślin sięga czasów starożytnych, a dowody na to znajdujemy w tekstach staroegipskich oraz w Biblii. Piszą autorzy: „Z tekstu greckiego z przełomu IV i III wieku p.n.e. wynika, że w tych czasach znane były już rdze zbóż i roślin strączkowych, a prowadzone obserwacje chorób pozwoliły na sformułowanie wniosku, że rośliny częściej chorują, gdy uprawia się je w dolinach, czyli miejscach mniej przewiewnych, gdzie wilgotność względna powietrza jest wyższa niż na zboczach wzgórz. W starożytnym Rzymie stosowano już nawet proste zabiegi ochrony roślin, polegające na moczeniu nasion w winie przed ich wysiewem”. Ciekawe te informacje, zwłaszcza dla działkowców takich jak niżej podpisany. Czy jednak techniki radiacyjne mogą pomóc? Zachęcam do lektury artykułu.

Dwa ostatnie teksty w części artykułowej przygotowali odpowiednio: nasz redakcyjny kolega dr Wojciech Głuszewski („Postęp w technikach radiacyjnych”) oraz Juraj Klepač („Słowackie elektrownie jądrowe”). Ilustracją do tego drugiego tekstu jest zdjęcie EJ w Bohunicach zamieszczone na pierwszej stronie okładki.

W części „Doniesienia” – jak zwykle – znajdą Państwo „jądrowe” informacje z Polski i ze świata. Piszemy m.in. o I Edukacyjnym Forum Energetyki Jądrowej, odznaczeniu francuskim Narodowym Orderem Zasługi prezesa zarządu EDF Polska S.A. Philippe’a Castaneta, który kierował Grupą EDF w Polsce przez ponad pięć lat, XIII Zjeździe PTN oraz o Międzynarodowym Forum Energetyki Jądrowej, którego jednym z patronów medialnych był nasz kwartalnik PTJ. W „Doniesieniach” znajdą Państwo informację o Nocy Muzeum, współorganizowanej przez IChTJ, a także o ciekawej nocce – także o PTJ – którą zamieściło francuskie czasopismo REVUE GÉNÉRALE NUCLÉAIRE.

Bardzo ciekawą „pocztówkę”, z wieloma zdjęciami przesłała nam z Czarnobyla Małgorzata Sobieszczak-Marciniak. Bardzo polecam lekturę tej korespondencji.

Już piąty odcinek swojego historycznego cyklu o Instytucie Badań Jądrowych napisał, a my go publikujemy, prof. Janusz Leciejewicz. Artykuł poświęcony jest – tym razem – udziałowi polskich uczonych w I konferencji genewskiej, która odbyła się w 1955 r.

Na końcowych stronach czasopisma zamieszczamy dość obszerne wspomnienia o zmarłych niedawno wybitnych polskich uczonych: prof. Zdzisławie Wilhelim oraz prof. Marii Kopeć.

Zachęcam do obejrzenia zdjęć na ostatniej stronie okładki przedstawiających osoby uczestniczące w ostatnim Zjeździe PTN, współwydawcy naszego kwartalnika.

Zachęcam także wszystkich Państwa do nadsyłania do nas materiałów z zakresu szeroko rozumianej atomistyki.

Życzę wszystkim naszym Czytelnikom dobrego wakacyjnego wypoczynku.

Redaktor Naczelny
Stanisław Latek

WYWIAD Z JANUSZEM WŁODARSKIM, PREZESEM PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

Stanisław Latek

Stanisław Latek: Na początku kwietnia tego roku polski parlament przegłosował kolejne zmiany w polskim Prawie atomowym. Zmiany uwzględniają postanowienia Dyrektywy Rady UE z dnia 19 lipca 2011 r. o odpowiedzialnym i bezpiecznym gospodarowaniu wypalonym paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi. Co oznacza ta zmiana w Prawie atomowym dla Państwowej Agencji Atomistyki?

Janusz Włodarski: Zmiana ta oznacza dla Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) przede wszystkim więcej zadań, więcej obowiązków, ale też więcej środków prawnych służących realizacji tych obowiązków i pomagających w nadzorze nad wykonywaniem działalności związanej z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym. Dotychczas obowiązujące w Polsce przepisy określały w sposób szczegółowy i restrykcyjny wymagania dotyczące postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym.

Mówiąc o nowych zadaniach i obowiązkach mam na myśli to, iż ustawa z 4 kwietnia 2014 r. o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw (Dz. U. poz. 587), która wchodzi w życie 24 maja br., w trosce o bezpieczeństwo społeczeństwa i środowiska, określiła jeszcze bardziej restrykcyjne wymagania dotyczące postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym, a nadzór nad przestrzeganiem tych wymagań powierzyła Prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki.

Ustawa *explicite* wyraża dwie niezwykle ważne zasady. Zgodnie z pierwszą z nich jednostka organizacyjna, w której powstają odpady promieniotwórcze lub wypalone paliwo jądrowe, odpowiada za zapewnienie możliwości postępowania z odpadami promieniotwórczymi oraz z wypalonym paliwem jądrowym, w tym za zapewnienie finansowania tego postępowania, od momentu ich powstania aż po ich oddanie do składowania, łącznie z finansowaniem składowania. Druga z nich stanowi, iż jednostka organizacyjna ma obowiązek planować i wykonywać działalność związaną z narażeniem w sposób uniemożliwiający powstawanie odpadów promieniotwórczych, a w przypadku gdy z uwagi na charakter wykonywanej działalności związanej z narażeniem nie jest możliwe spełnienie tego wymagania, jednostka organizacyjna, w której powstają odpady promieniotwórcze, ma obowiązek zapewnić powstawanie odpadów promieniotwórczych na najniższym rozsądnie osiągalnym poziomie zarówno pod względem objętości, aktywności, jak i stężenia



fot. Państwowa Agencja Atomistyki

Fot. 1. Prezes Państwowej Agencji Atomistyki Janusz Włodarski

promieniotwórczego oraz minimalizowanie wpływu tych odpadów na środowisko. Spełnienie tych wymagań będzie podlegało nadzorowi ze strony Prezesa PAA i inspektorów dozoru jądrowego. Działalność jednostki organizacyjnej będzie więc podlegała kontroli nie tylko ściśle z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, ale także spełnienia wyżej opisanych zasad.

Powyższe zasady dowodzą troski ustawodawcy o przyszłe pokolenia i dają gwarancję, że problem gospodarowania odpadami promieniotwórczymi nie będzie odłożony na przyszłość. Wyrazem tej troski jest także wprowadzona do

ustawy – Prawo atomowe kompetencja Prezesa PAA do określania w zezwoleniu na wykonywanie działalności związanej z narażeniem terminu, w jakim kierownik jednostki organizacyjnej będzie miał obowiązek przekazać odpady promieniotwórcze lub wypalone paliwo jądrowe do składowania lub przetwarzania. Nie będzie więc możliwe przechowywanie w nieskończoność odpadów promieniotwórczych w jednostce organizacyjnej. Już przy podejmowaniu działalności związanej z narażeniem jednostka organizacyjna będzie musiała uwzględnić konieczność przekazania tych odpadów do składowania czy też przechowywania w określonym terminie i konieczność sfinansowania tych działań.

Ustawa, o którą Pan pyta, wprowadza jeszcze jedną istotną zmianę w funkcjonowaniu PAA. Uproszczeniu ulegnie struktura organów dozoru jądrowego w Polsce. Ustawa nowelizująca dokonuje zniesienia organu dozoru jądrowego – Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego. Struktura organów dozoru jądrowego będzie więc teraz bardzo prosta i przejrzysta dla obywateli i obejmie: inspektorów dozoru jądrowego oraz Prezesa PAA jako organ wyższego stopnia w stosunku do inspektorów dozoru jądrowego.

W pozostałym zakresie ustawa zmieniająca przenosi na poziom ustawowy wymagania już obowiązujące od lat w polskim prawie, ale zawarte dotąd w aktach rangi pod ustawowej. Względy konstytucyjne skłoniły ustawodawcę do takiego zabiegu legislacyjnego.

SL: Czy w związku z tymi zmianami w Prawie atomowym, Państwowa Agencja Atomistyki zaproponuje wydanie nowych aktów wykonawczych, a jeśli tak, to kto przygotowuje projekty odpowiednich rozporządzeń Rady Ministrów?

JW: Projekty nowych aktów wykonawczych są już gotowe i właśnie rozpoczyna się w stosunku do nich oficjalna procedura legislacyjna określona przez przepisy Regulaminu pracy Rady Ministrów. Ustawa nowelizująca utrzymała w mocy jeszcze przez 18 miesięcy dotychczas obowiązujące rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 3 grudnia 2002 r. w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego (Dz. U. Nr 230, poz. 1925). Mimo to już jest procedowany projekt nowego rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego.

Pozostałe dwa projekty to projekt rozporządzenia Rady Ministrów w sprawie okresowej oceny bezpieczeństwa składowisk odpadów promieniotwórczych oraz projekt rozporządzenia Rady Ministrów zmieniającego rozporządzenie w sprawie inspektorów dozoru jądrowego. Wszystkie te projekty zostały opracowane w Państwowej Agencji Atomistyki. Chcielibyśmy, żeby weszły w życie 1 stycznia 2015 r.

SL: I jeszcze jedno pytanie dotyczące problematyki odpadów promieniotwórczych: czy Państwowa Agencja Atomistyki uczestniczy w działaniach zmierzających do znalezienia i wybudowania nowego składowiska odpadów promieniotwórczych?

JW: Poszukiwanie lokalizacji nowego składowiska odpadów promieniotwórczych nie jest zadaniem dozoru jądrowego. Nie zmienia to faktu, że z uwagą będziemy ten proces śledzić. Prezes PAA odpowiada za nadzór nad bezpieczeń-

stwem postępowania z opadami promieniotwórczymi, w tym nad bezpieczeństwem ich składowania przez Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych. W kompetencjach Prezesa PAA leży też wydawanie zezwoleń na przechowywanie i składowanie odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego, a także zezwoleń na budowę, eksploatację i zamknięcie składowiska odpadów promieniotwórczych. Natomiast gospodarka odpadami promieniotwórczymi to zadanie Ministra Gospodarki, który stosownie do postanowień ustawy o działach administracji rządowej, odpowiada za wykorzystanie energii atomowej na społeczno – gospodarcze potrzeby kraju. Do 2001 r. zadanie to ciążyło na Prezisie PAA stąd też PAA do 2001 r. prowadziła szeroko zakrojone działania mające na celu poszukiwania lokalizacji nowego składowiska odpadów promieniotwórczych.

Obecnie w Polsce funkcjonuje składowisko odpadów nisko- i średnioaktywnych w Różanie nad Narwią, które jest eksploatowane przez Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych. Szacuje się, że zapełni się ono całkowicie ok. roku 2020. W Ministerstwie Gospodarki prowadzone są prace nad lokalizacją nowego składowiska. Kwestia tego, gdzie ono powstanie jest jeszcze otwarta.

W październiku 2012 r. Ministerstwo Gospodarki ogłosiło przetarg na wykonanie analiz dotyczących opracowania metodyki oceny bezpieczeństwa i wskazania optymalnej lokalizacji płytkiego składowiska odpadów promieniotwórczych nisko- i średnioaktywnych. W postępowaniu tym wybrano konsorcjum, w skład którego wchodzi m. in. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Instytut Geofizyki PAN oraz Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN. Instytucje te należą do czołowych ośrodków naukowych w kraju, co powinno zapewnić wykonanie badań lokalizacyjnych na wysokim poziomie.

Rolą Prezesa PAA będzie ocena na etapie wydawania zezwolenia na budowę składowiska czy wytypowana przez MG i ZUOP lokalizacji składowiska spełnia wymagania bezpieczeństwa.

SL: Zgodnie z art. 108 Prawa atomowego minister właściwy do spraw gospodarki opracowuje projekty planów i strategii w zakresie rozwoju energetyki jądrowej w Polsce, w tym Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ). Jak wiadomo program został przyjęty przez Radę Ministrów, a stanowisko Pełnomocnika Rządu ds. Polskiej Energetyki Jądrowej zostało zlikwidowane. Kto zatem, zdaniem Pana Prezesa, jest w tej chwili personalnie odpowiedzialny za realizację PPEJ?

JW: Partnerem dla rozmów z nami jest i zawsze było Ministerstwo Gospodarki, jest ono bowiem odpowiedzialne za realizację PPEJ. Rezygnacja ze stanowiska pełnomocnika, Pani Minister Hanny Trojanowskiej, oraz likwidacja stanowiska Pełnomocnika Rządu ds. Polskiej Energetyki Jądrowej niewiele w tym zakresie zmieniła. Poza tym nie jest jeszcze postanowiona ostateczna likwidacja tego stanowiska, które podkreślało stosunek i zainteresowanie Rządu rozwijaniem energetyki jądrowej, chociaż należy zaznaczyć, że nie stanowisko jest najistotniejsze, a podejmowane działania i ich konsekwencje. Od siebie mogę dodać, że współpraca pomiędzy nami a Ministerstwem Gospodarki układa się bardzo dobrze.

SL: W niedawnej wypowiedzi dla Polskiej Agencji Prasowej powiedział Pan Prezes, że Państwowa Agencja Atomistyki intensywnie przygotowuje się do nadzoru nad budową elektrowni jądrowej. Proszę w skrócie przypomnieć naszym Czytelnikom jakie są elementy tego procesu przygotowawczego. Chodzi nam o budżet, kadry, współpracę z instytutami badawczymi i uczelniami, a także z innymi urządami państwowymi, w tym Urzędem Dozoru Technicznego.

JW: O przygotowaniach PAA – dozoru jądrowego do realizacji nowych zadań związanych realizacją PPEJ mówiłem już wielokrotnie, więc tu ograniczę się jedynie do przypomnienia podstawowych zagadnień. Intensywne przygotowania do realizacji PPEJ rozpoczęliśmy już w 2009 r. Od tego czasu przeszliśmy liczne zmiany organizacyjne, m.in. zmieniliśmy strukturę PAA, ustanawiając nowe komórki. By podoląć niezwykle pracochłonnemu procesowi licencjonowania obiektów energetyki jądrowej zatrudniliśmy 37 nowych pracowników, a docelowo ma ich być 39, w tym kandydatów na inspektorów dozoru jądrowego, pracowników dokonujących analiz bezpieczeństwa i specjalistów z zakresu prawa administracyjnego. W Polsce nie ma szerokich, wyspecjalizowanych kadr z dziedziny energetyki jądrowej, intensywnie szkolimy więc naszych pracowników w kraju i zagranicą.

Konieczne okazało się przeszkolenie zarówno istniejącej, jak i nowej kadry w zagadnieniach technologii oraz dozoru obiektów energetyki jądrowej. Zorganizowaliśmy w ostatnich czterech latach trzy kursy wewnętrzne w PAA w zakresie zagadnień inżynierii i bezpieczeństwa reaktorów, prowadzone przez wybitnego specjalistę w tej dziedzinie, dla wytypowanych grup inspektorów dozoru jądrowego i innych pracowników PAA, w tym nowo przyjmowanych, posiadających niezbędne podstawy merytoryczne.

Nowe kompetencje i nowi, intensywnie szkoleni pracownicy oznaczają oczywiście zwiększone nakłady finansowe na działalność PAA, ale na bezpieczeństwie nie można przecież oszczędzać. Obecnie nie mamy kłopotów finansowych.

Oczywistym jest, że dozór jądrowy wymaga wsparcia technicznego, m.in. w dziedzinie geologii, hydrologii, radiochemii i innych. By takie wsparcie uzyskać zawarliśmy umowy ramowe z organizacjami naukowo-badawczymi i instytucjami wsparcia technicznego – m.in. Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej, czy Instytutem Geofizyki PAN. W tym miejscu pozwolę sobie powtórzyć obiektywnie jakie już wyrażałem w innych okolicznościach. Niepokoją mnie niejasności związane z tworzeniem w naszym kraju organizacji wsparcia technicznego – to znaczy takiej instytucji, która w bardzo specjalistycznych obszarach mogłaby wykonywać analizy lub ekspertyzy dla dozoru jądrowego związane z procesem licencjonowania elektrowni jądrowej. Wspomniane niejasności dotyczą zasad finansowania takiej instytucji i jej trybu współpracy z Agencją.

Trochę zadań nam także ubyło. Przeprowadzona analiza wskazała na potrzebę eliminacji zadań niezwiązanych bezpośrednio z dozorem – jak np. obsługa współpracy i opłacania składek do naukowych organizacji międzynarodowych – takich jak międzynarodowe instytuty badań jądrowych w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN) i Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych (ZIBJ) w Dubnej, a także do organizacji Układu o całkowitym zakazie prób z bronią

jądrową CTBTO. Zadania te udało się Prezesowi PAA przekazać odpowiednim ministrom: Nauki i Szkolnictwa Wyższego oraz Spraw Zagranicznych w 2013 r. Także dotowanie z budżetu za pośrednictwem PAA niektórych zadań związanych z bezpieczeństwem, wykonywanych przez niektóre instytuty naukowe przekazano bezpośrednio nadzorującemu te instytuty ministrowi gospodarki.

Odnosnie do współpracy z innymi organami administracji publicznej to należy podkreślić, że zgodnie z zapisami ustawy Prawo atomowe przy wykonywaniu nadzoru i kontroli w zakresie bior obiektów jądrowych, organy dozoru jądrowego współdziałają z innymi organami administracji z uwzględnieniem właściwości i kompetencji tych organów. Koordynację w zakresie kontroli i nadzoru nad działalnością obiektów jądrowych, sprawowanych przez organy dozoru jądrowego oraz inne organy administracji zapewnia system koordynacji kontroli i nadzoru nad obiektami jądrowymi, który tworzą Prezes Agencji w porozumieniu z Szefem Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Urzędem Dozoru Technicznego, Głównym Inspektorem Ochrony Środowiska, Głównym Inspektorem Sanitarnym, Komendantem Głównym Państwowej Straży Pożarnej, Głównym Inspektorem Nadzoru Budowlanego, Głównym Inspektorem Pracy.

Istotne jest to, że ustanowiony system koordynacji w żaden sposób nie uszczuplił uprawnień organów objętych koordynacją wynikających z przepisów ustrojowych kształtujących ich sytuację prawną.

Powierzenie kierowania systemem koordynacji Prezesowi PAA wynika z faktu, że jest on centralnym organem administracji rządowej właściwym w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. W związku z tym wyposażono go w szereg niezbędnych do kierowania systemem koordynacji uprawnień, wśród których jest m.in. możliwość zwoływania posiedzeń przedstawicieli organów współdziałających oraz zapraszania na te posiedzenia przedstawicieli innych organów i służb, a także laboratoriów, organizacji eksperckich, biegłych i ekspertów, którzy mogą służyć pomocą i przyczyniać się do zwiększenia efektywności systemu koordynacji. Temu ostatniemu celowi służyć mogą także powoływane zespoły do spraw szczegółowych zagadnień związanych z koordynacją kontroli i nadzoru nad działalnością obiektów jądrowych.

SL: W tej samej wypowiedzi powiedział Pan, że PAA zgłosiła na forum regulatorów jądrowych MAEA potrzebę przeszkolenia 24 osób. Jakie są szanse, że ta potrzeba zostanie zaspokojona i jak długo potrwa proces szkolenia?

JW: PAA wystąpiła we wrześniu 2013 r. na Forum Współpracy Dozorowej (RCF – Regulatory Cooperation Forum) z prośbą o rozważenie możliwości przeprowadzenia kilkumiesięcznych szkoleń stanowiskowych (tzw. „on-the-job-training”) dla 24 pracowników PAA bezpośrednio w dozorach zagranicznych. Ideą tych szkoleń jest uczestniczenie w działaniach dozorowych zagranicznych partnerów w celu zdobywania praktycznych kompetencji dozorowych.

Obecnie trwa proces uzgadniania planu szkoleniowego PAA-RCF, który powinien być gotowy do połowy roku. Takie kilkumiesięczne szkolenia są zawsze dużym obciążeniem dla organizacji goszczącej, dlatego mamy świadomość, że możemy nie móc zrealizować w pełni zakładanego planu,

jednakże toczone obecnie negocjacje z naszymi partnerami z RCF w celu osiągnięcia optymalnego planu szkoleń. Na ile się to uda, będzie wiadomo w połowie roku.

Należy też dodać, że nie wszystkie kraje z którymi prowadzimy współpracę są członkami RCF, dlatego nawiązujemy – równoległe do współpracy z RCF – kontakty z innymi partnerami w celu realizacji w maksymalnym stopniu założonego planu szkoleń stanowiskowych. Oczywiście ten typ szkolenia nie wyczerpuje naszych potrzeb szkoleniowych. Opracowujemy szczegółowy program szkolenia dla wszystkich pracowników PAA.

Aby w jak największym stopniu dopasować program szkoleń do potrzeb nowoczesnego urzędu dozoru jądrowego i rozwijać kluczowe kompetencje zdecydowaliśmy się na wdrożenie w PAA metodologii Systematic Assessment of Regulatory Competence Needs, opracowanej przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej.

Zgodnie z wytycznymi tego podejścia, dokonaliśmy adaptacji opracowanej przez MAEA obszernej, bo składającej się z ponad 200 pozycji, listy kompetencji. Na podstawie tego „zestawu” definiujemy profile kompetencyjne dla stanowisk w PAA.

SL: Znaleźliśmy wypowiedź Pana Prezesa o tym, że polskie przepisy wymagają, aby technologia, która będzie wdrożona w Polsce była sprawdzona. I, że nie wystarczy, że jakiś zagraniczny dozór dopuścił daną technologię, aby ją zastosować w Polsce. Podał Pan przykład EJ w Olkiluoto. Proszę powiedzieć coś więcej na ten temat, bo nie wydaje się, aby polski dozór był bardziej kompetentny niż na przykład dozór francuski.

JW: W tak sformułowanym pytaniu Pana Redaktora porzucam echa poglądów ludzi kompletnie nierozumiejących roli dozoru jądrowego w kraju wdrażającym bądź rozwijającym energetykę jądrową oraz nie zdających sobie sprawy z powszechnie uznawanych w świecie standardów w tym zakresie. Standardy te obarczają niezbywalną odpowiedzialnością za bezpieczeństwo obiektu jego inwestora, a później jednostkę eksploatującą (wcale nie dostawcę technologii!!!), a odpowiedzialnością za nadzór i kontrolę nad bezpieczeństwem (przejawiającą się m.in. w postaci wydania odpowiednich zezwoleń) – krajowy urząd dozoru jądrowego (w żadnym razie nie urząd dozoru kraju dostawcy technologii!!!).

Kontynuując rozumowanie zawarte w pytaniu można by dojść do wniosku, że istnienie dozoru jądrowego w Polsce, przynajmniej w części dotyczącej nadzoru nad elektrowniami jądrowymi, jest niecelowe. Słyszeliśmy już podobne wypowiedzi: „... skoro licencję na daną technologię wydał już dozór w USA uzyskanie zezwolenia na budowę w Polsce tej technologii powinno być tylko formalnością”. Ale, czy wie Pan, Panie Redaktorze, że elektrownia, której projekt i dokumentację bezpieczeństwa analizował US-NRC tak naprawdę nie istnieje. W przypadku każdej budowanej elektrowni wprowadzane są setki, a nawet tysiące zmian dostosowujących jej projekt do warunków konkretnej lokalizacji. Oczywiście podstawowa „filozofia bezpieczeństwa” nie zostaje zmieniona, ale większość zmian projektowych musi być poddana analizie z punktu widzenia wpływu tych zmian na bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną. Analizę taką musi w pierwszym rzędzie wykonać inwestor – przyszły operator obiektu, bo to on właśnie będzie ponosił odpowiedzialność

za bezpieczeństwo pracy tego obiektu. Dopiero wyniki tych analiz, w postaci raportu bezpieczeństwa będą poddane niezależnej, zewnętrznej weryfikacji przez PAA jako urząd dozoru jądrowego. Zdajemy sobie sprawę z wyzwań jakie się z tym wiąże i czynimy odpowiednie przygotowania starając się z sukcesem pozyskać i opanować narzędzia służące do takich analiz. Z należytych szacunków odnosimy się do wiedzy i doświadczenia innych organizacji dozorowych, chcemy uczyć się od nich, ale nie mamy kompleksów. W procesie licencjonowania będziemy używać różnych narzędzi, w tym coraz nowocześniejszych kodów komputerowych. Będziemy też korzystać, jeśli będzie taka możliwość, z wyników analiz przeprowadzonych przez inne dozory, ale dokonamy także własnej oceny zaproponowanej technologii.

Wspomniał Pan, Redaktorze, o Olkiluoto i sprawnym działaniu fińskiego dozoru jądrowego. Dozór ten wykrył pewne nieprawidłowości w materiale, z którego miały zostać wykonane ważne elementy instalacji jądrowej. Gdyby był to dozór w innym kraju, mniej doświadczony i uległy sugestiom o własnej niedoskonałości i zaniechał interwencji to mogłoby dojść do katastrofy.

SL: Państwowa Agencja Atomistyki upowszechnia opinię, że stara się być bardziej efektywna w dziedzinie informacji społecznej. Jakie są najważniejsze elementy tej nowej strategii Państwowej Agencji Atomistyki w tej dziedzinie?

JW: Dwie ostatnie nowelizacje ustawy – Prawo atomowe oraz Ustawy o udostępnianiu informacji o środowisku i jego ochronie doprowadziły do powstania zupełnie nowego stanu prawnego w odniesieniu do informowania społeczeństwa o stanie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. W wyniku tych nowelizacji obowiązujące przepisy nakładają na Prezesa PAA obowiązek informowania społeczeństwa o:

- 1) stanie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej obiektów jądrowych oraz składowisk odpadów promieniotwórczych, ich wpływie na zdrowie ludzi i środowisko naturalne;
- 2) wielkości i składzie izotopowym uwolnień substancji promieniotwórczych z obiektów jądrowych i składowisk odpadów promieniotwórczych do środowiska;
- 3) zdarzeniach w obiekcie jądrowym lub składowisku odpadów promieniotwórczych powodujących powstanie zagrożenia;
- 4) wydanych zezwoleniach dotyczących obiektów jądrowych i składowisk odpadów promieniotwórczych;
- 5) złożonych wnioskach o wydanie zezwolenia na budowę obiektu jądrowego lub składowiska odpadów promieniotwórczych.

W celu prawidłowego wykonywania wyżej wymienionych obowiązków znacznie wzmocniliśmy dział PAA odpowiedzialny za informowanie społeczeństwa o naszych działaniach. Nie ograniczamy się jednak do realizacji obowiązków wynikających z przepisów prawa. Przede wszystkim stawiamy na nowoczesne środki przekazu. Bardzo zintensyfikowaliśmy kontakty z dziennikarzami. Staramy się prowadzić aktywną politykę informacyjną na tematy związane z bezpieczeństwem jądrowym i ochroną radiologiczną. Regularnie wysyłamy dziennikarzom e-maile z informacjami dot. najważniejszych wydarzeń, np. zaginięcia źródeł promieniotwórczych, czy też sytuacji w uszkodzonej elektrowni jądrowej Fukushima.



Fot. 2. Delegacja na czele z Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki Januszem Włodarskim podczas wizyty na Białorusi zwiedziła m. in. teren budowy elektrowni jądrowej w Ostrowcu

ma wraz z eksperckimi komentarzami. Niektóre informacje zamieszcza również rzeczniczka naszego urzędu na swoim oficjalnym profilu w serwisie Twitter.

Zintensyfikowaliśmy nasze działania informacyjne w Internecie. W ubiegłym roku całkowicie przebudowaliśmy nasz serwis internetowy, tak, by był łatwiejszy w obsłudze i bardziej przyjazny dla użytkownika. Zmiany graficzne podkreśliło nowe logo naszego urzędu i stworzony specjalnie dla nas System Identyfikacji Wizualnej. W tym roku unowocześniliśmy także stronę Biuletynu Informacji Publicznej.

Stawiamy nacisk na transparentność i pełen dostęp społeczeństwa do informacji. Uruchomiliśmy mechanizm newslettera, którym rozsyłamy najważniejsze informacje dotyczące naszych działań zainteresowanym osobom. Tą drogą dystrybuujemy także naszą sztandarową publikację – biuletyn „Bezpieczeństwo jądrowe i ochrona radiologiczna”. Nasz biuletyn od tego roku ukazuje się tylko w formie elektronicznej, co pomaga nam zwiększyć jego zasięg i jest ekologiczne.

Jeszcze w tym roku planujemy wyprodukowanie filmu edukacyjnego na temat bezpieczeństwa elektrowni jądrowych. W planach mamy też uruchomienie serwisu edukacyjnego atomistyka.pl. Między innymi dzięki takim działaniom chcemy się stać urzędem zaufania publicznego.

SL: I ostatnie pytanie: ponownie w Internecie i pismach ekologicznych (Riviera, 26 kwietnia) przywołuje się wypowiedź Pana Prezesa o tym, że „Nawet gdyby miała wydarzyć się taka katastrofa jak w Fukushima, Polska chce wdrożyć energetykę jądrową”. Ta wypowiedź miała się ukazać w oficjalnym magazynie wydawanym przez ambasadę RP w Tokio w styczniu br.

Czy Państwowa Agencja Atomistyki nie mogłaby spowodować, aby takich – jak rozumiem – fałszywych informacji nie publikowano?

JW: Na początku pozwoli Pan Redaktor, że przytoczę fakty. Nigdy nie powiedziałem, że Polska chce wdrożyć energetykę jądrową „nawet gdyby w Polsce miała się wydarzyć taka katastrofa jak w Fukushima”. Taka wypowiedź nie ma sensu technicznego, bo katastrofa naturalna jaka miała miejsce w Fukushima nie może mieć miejsca w naszej części świata, a ponadto Polska nie będzie budować elektrowni jądrowej

drugiej generacji. W istocie w rozmowie z japońskim dziennikarzem zaznaczyłem, że Polska po awarii w Fukushima jest nadal energetyką jądrową zainteresowana. Było to po prostu stwierdzenie faktu, gdyż w tamtym okresie (pod koniec 2012 r.) prace nad Programem Polskiej Energetyki Jądrowej w Ministerstwie Gospodarki cały czas trwały. Rozmowa pomiędzy mną a japońskim dziennikarzem była prowadzona w języku angielskim, w obecności tłumacza.

Niestety, jeden z polskich portali „ekologicznych” przytoczył zniekształconą wypowiedź, twierdząc, że to cytat z wywiadu ze mną. Najprawdopodobniej zawinił brak znajomości języka japońskiego w ich redakcji. Mimo naszej reakcji i prośby o sprostowanie działacze ekologiczni powtarzają te fałszywe informacje. Nacisk w artykule położony został na kwestie bezpieczeństwa elektrowni jądrowych, bezpieczeństwo społeczeństwa i środowiska jako nasz najwyższy priorytet. Nasi krytycy kompletnie pominęli jednak kontekst mojej wypowiedzi.

Oczywiście na wszystkie nadużycia reagujemy. Do redakcji magazynu „Riviera” wysłaliśmy sprostowanie, które notabene zostało opublikowane oraz tłumaczenie przysięgłe artykułu z magazynu „Rising Polska”, w którym zawarty jest poprawny cytat mojej wypowiedzi. W każdym z przypadków przytaczania zniekształconej wypowiedzi tak reagowaliśmy i będziemy tak robić jeśli takie sytuacje się powtórzą.

Wszyscy nasi oponenci powinni pamiętać, że PAA jest niezależnym i bezstronnym urzędem dozoru jądrowego. Nie promujemy energetyki jądrowej. W sytuacji, gdy polski rząd decyduje się wdrożyć energetykę jądrową, to musimy oczywiście przygotować się do tego wyzwania.

Panie Prezesie, dziękuję bardzo za rozmowę. Na pewno będziemy jeszcze niejednokrotnie powracać do tematu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej na łamach Postępów Techniki Jądrowej.

wywiad z Januszem Włodarskim,
Prezesem Państwowej Agencji Atomistyki
przeprowadził w dniu 20 maja 2014 r.

Stanisław Latek
redaktor naczelny Postępów Techniki Jądrowej,
Warszawa

TRUDNE NOWE ZADANIA PRZED INSTYTUCJAMI ODPOWIEDZIALNYMI ZA ZAPEWNIENIE BEZPIECZEŃSTWA JĄDROWEGO I OCHRONY RADIOLOGICZNEJ W POLSCE

Paweł Krajewski

Przyjęcie przez Radę Ministrów w dniu 28 stycznia 2014 r. uchwały w sprawie Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) zostało przyjęte z zadowoleniem przez środowisko naukowe zajmujące się problematyką atomistyki i m.in. rozpoczęło prace nad harmonogramem działań dla energetyki jądrowej.

Jest to kolejny krok, po powołaniu pełnomocnika rządu ds. polskiej energetyki jądrowej, do rozpoczęcia budowy pierwszej elektrowni jądrowej i zwiększania bezpieczeństwa energetycznego w Polsce. Długo dyskutowany, ale i oczekiwany powrót rządu RP do programu energetyki jądrowej zapewni zwiększenie bezpieczeństwa energetycznego kraju poprzez dywersyfikację bazy paliwowej i przyniesie polskiej elektroenergetyce źródło bezpiecznej, stabilnej, energii po konkurencyjnych cenach, wolnej od emisji gazów cieplarnianych i z uwzględnieniem wymagań ochrony środowiska, jak to zostało określone w priorytetach Polityki energetycznej Polski do 2030 r. Wdrożenie energetyki jądrowej w Polsce stwarza również dogodniejsze warunki dla rozwoju sektora badawczo-rozwojowego, zarówno pod względem podejmowanych zadań, współpracy międzynarodowej oraz programów i zakresu kształcenia specjalistów, wpłynie też z pewnością na podniesienie kultury bezpieczeństwa przy użytkowaniu izotopów promieniotwórczych w przemyśle, medycynie, technice i badaniach naukowych.

Opracowanie systemu bezpiecznej eksploatacji elektrowni jądrowej oraz zarządzania paliwem jądrowym i odpadami promieniotwórczymi będzie wymagało dokonania rzeczowej analizy obecnego stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej (bjor) w Polsce i będzie kolejną okazją do określenia jego podstawowych zadań na najbliższe lata.

Legislacyjnie ramy systemu bjor określa ustawa z dnia 13 maja 2011 r. o zmianie ustawy Prawo atomowe oraz niektórych innych ustaw a także ustawa z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (Dz.U. 2011 nr 135 poz. 789), jak również rozporządzenia UE oraz traktaty i konwencje międzynarodowe, których Polska jest stroną. Zgodnie z ustawą Prawo atomowe, szeroki wachlarz zadań, jak np. nadzór nad działalnością z wykorzystaniem

materiałów jądrowych i źródeł promieniowania jonizującego, nadzór, kontrola i analiza informacji związanych z oceną sytuacji radiacyjnej kraju, licencjonowanie użytkowników źródeł promieniotwórczych i materiałów jądrowych, ustalanie norm dopuszczalnego narażenia na promieniowanie jonizujące, prewencja i zarządzanie akcją antykrzysową, wypełniany jest przez Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (będącego centralnym organem administracji rządowej właściwym w sprawach bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej) wspomaganego przez odpowiednie departamenty PAA. Szczególną rolę w ramach struktury PAA pełni dozór jądrowy, który jako niezależny organ ma zapewnić bezpieczeństwo obiektu jądrowego m.in. przez stawianie wymagań, wydawanie zaleceń technicznych i organizacyjnych, przeprowadzanie kontroli elektrowni i opiniowanie decyzji innych organów, nakładanie sankcji wymuszających przestrzeganie odpowiednich przepisów. Dzięki takiemu rozwiązaniu, w Polsce istnieje jednolite podejście do wszelkich aspektów ochrony radiologicznej, bezpieczeństwa jądrowego i zabezpieczenia materiałów jądrowych i źródeł promieniotwórczych oraz funkcjonuje jeden dozór jądrowy nadzorowany przez Prezesa PAA.

Przy wielu zaletach, niewątpliwie słabą stroną tego systemu jest rozproszone zaplecze merytoryczne (tzw. TSO - Technical Support Organization), a zwłaszcza organizacja i koordynacja różnego typu sieci prowadzących monitoring radiacyjny skażeń promieniotwórczych środowiska i artykułów spożywczych, ludności, opartych obecnie na wielu placówkach takich jak: instytuty badawcze, instytuty naukowe PAN, specjalistyczne wydziały wyższych uczelni, Stacje Sanitarno-Epidemiologiczne, których sprawność zależy od aktualnych zdolności pomiarowych tych placówek. Jakakolwiek modernizacja, unowocześnienie, czy rozbudowa poszczególnych elementów tej sieci zależy od zaradności i zmiennej kondycji finansowej wspomnianych placówek, a integracja sieci jest praktycznie niemożliwa. Rozproszony w kraju potencjał ekspercki wymaga szczególnej troski. Obecnie badawczo-rozwojowa działalność w zakresie bjor w Polsce prowadzona jest na ogół przez niewielkie zespoły specjalistów, rozmieszczone w kilkunastu instytucjach wykorzystujących większe urządzenia badawcze (reaktor MARIA, cyklotron, wysokoak-

tywne źródła promieniowania jonizującego) lub utworzone w związku z potrzebami branżowymi (medycyna, górnictwo, obrona kraju). Ocenia się, że ogólna liczba pracowników zajmujących się w polskich placówkach naukowo-badawczych i w uczelniach tematyką bjiór, to nie więcej niż ok. 210 osób (w tym 130 pracowników naukowych i 80 pracowników naukowo - technicznych). Niepokój budzą niskie zarobki i brak młodej wykwalifikowanej kadry. Chociaż większość tych zespołów stara się aktywnie współpracować z organizacjami międzynarodowymi takimi jak: Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA), Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP), Międzynarodowe Stowarzyszenie Ochrony przed Promieniowaniem (IRPA) oraz działa w różnego rodzaju sieciach naukowych i konsorcjach np. European Radiation Dosimetry Group (EURADOS), Centrum Radonowe, to z aktualnie prowadzonych projektów w programach ramowych EURATOM - Ochrona przed Promieniowaniem nie jest koordynowany przez instytucję polską. Tylko specjalistyczne i wszechstronnie wyposażone i stabilnie finansowane instytuty badawcze bogatych państw „jądrowych” (Francja, Niemcy, Wielka Brytania) dysponują wystarczającym potencjałem, aby skutecznie pozyskiwać finansowanie z UE.

Niezależnie od tempa wdrażania energetyki jądrowej w Polsce, pilne wzmocnienie systemu bjiór, szczególnie w zakresie rozwoju kadry i infrastruktury wspomagającej, będzie musiało nastąpić chociażby ze względu na wzrost liczby potencjalnych źródeł zagrożenia radiacyjnego kraju, m.in. zwiększenia liczby elektrowni jądrowych krajów sąsiednich zlokalizowanych w pobliżu granic Polski (obecnie 10 czynnych elektrowni jądrowych, w tym 26 bloków – reaktorów energetycznych w odległości do ok. 310 km od granicy), czy wzrostu liczby użytkowników źródeł promieniowania jonizującego m.in. w sektorze medycznym w związku z rozwojem nowych technik badań diagnostycznych i terapeutycznych z zastosowaniem promieniowania jonizującego, czy też w związku z podwyższeniem standardów warunków pracy i ochrony środowiska przez UE. Kierunek zmian w istniejących regulacjach prawnych polskiego systemu bjiór wynika także z potrzeby wdrożenia nowej Dyrektywy Unii Europejskiej Basic Safety Standard² (zatwierdzonej przez Parlament UE 14 stycznia 2014 r. z okresem transpozycji do prawa krajowego Państw Członkowskich najpóźniej do 6 lutego 2018 r.) czy zaostrzonych standardów bezpieczeństwa reaktorów jądrowych wprowadzonych po awarii EJ Fukushima Dai-chi. Należy również wrócić do zaniechanej w latach 80-tych tematyki pokrewnej np. badań w zakresie działań prewencyjnych na wypadek zagrożenia terroryzmem jądrowym i radiacyjnym.

W Polsce od 1995 r. działa sieć pomiaru mocy dawki *on-line* (13 stacji PMS, 13 stacji G-M MON i 9 stacji IMGW). System ten jest adekwatny do sytuacji, kiedy EJ są z dala od granic, natomiast niewystarczający do określenia lokalnych zmian rozkładu mocy dawki. Kraje posiadające elektrownie jądrowe dysponują znacznie rozbudowanymi sieciami, na przykład w Niemczech pracuje 2000 stacji rozmieszczonych w rastrze 15x15 km, w Szwajcarii 120 stacji w dwóch niezależnych sieciach NADAM oraz MADUK, w Finlandii pracuje 254 tego typu stacji³. Dodatkowo, na obszarze całej Finlandii, prowadzi się rutynowe badania tła promieniowania gamma metodą spektrometryczną „in situ” oraz pomiary mocy dawki metodami pasywnymi⁴, zwykle w cyklach miesięcznych lub kwartalnych. W Polsce, do 2002 r. prowadzono tego typu badania

w cyklu 2-letnim dla ok. 250 punktów pomiarowych, później ze względów finansowych zaprzestano tych badań.

Poza pomiarami mocy dawki, drugim, niezwykle istotnym elementem monitoringu stanu radiologicznego kraju jest badanie śladowych stężeń aktywności radionuklidów naturalnych i pochodzenia sztucznego w różnych komponentach środowiska: powietrzu, glebie, osadach dennych, wodzie gruntowej oraz opcjonalnie w roślinach: w trawie, roślinach jadalnych i pastewnych, produktach spożywczych: głównie w mleku i mięsie (wołowe, wieprzowe, drobiowe). Nie mniej ważnym zadaniem tego monitoringu, jest również zdolność śledzenia ewentualnych trendów czasowych dla długożyciowych produktów rozszczepienia, aktywacji oraz pierwiastków transuranowych. Wymaga to zaangażowania specjalistycznych laboratoriów wyposażonych w odpowiednie techniki pomiarowe i aparaturę, zwłaszcza, gdy pożądana jest duża dokładność analiz przy zachowaniu krótkiego czasu pomiaru. Z kolei tylko dobra statystyka pomiarów może zapewnić rzetelny obraz rzeczywistych zagrożeń spowodowanych uwolnieniem do środowiska materiału promieniotwórczego.

Na przykład, monitoring radiologiczny we Francji dostarcza informacji o sytuacji radiacyjnej kraju na podstawie 150 000 pomiarów miesięcznie (dane z The Nuclear Safety Authority (ASN)), w Finlandii 20 000 pomiarów miesięcznie. W Polsce, tylko w kilku wiodących ośrodkach posiadających nowoczesną aparaturę, wykonuje się pomiary stężeń izotopów w próbkach środowiskowych stosując nowoczesne techniki pomiarowe jak: tzw. niskotłową spektrometrię promieniowania gamma, spektrometrię ciekłoscintylacyjną czy półprzewodnikową spektrometrię promieniowania alfa. Podobnie jest z metodami radiochemicznymi. Stosowane metody obejmują mineralizację mikrofalową, techniki chromatografii jonowymiennej i ekstrakcję kolumnową. Brakuje natomiast (nawet w tych ośrodkach) rozwiniętych technik spektrometrii masowej, która ma znaczenie w analizach bardzo długożyciowych radionuklidów. Mimo posiadanej aparatury, nieliczna kadra techniczna powoduje, że laboratoria te będą miały duże trudności ze sprawną preparatyką i pomiarem dużej liczby próbek o złożonym składzie izotopowym, różnej gęstości i pochodzeniu.

Z kolei liczniejsze, tzw. placówki podstawowe monitoringu krajowego, używają przeważnie metodyki i aparatury z lat 80., ponadto borykają się z trudnościami finansowymi i wciąż odczuwają brak wsparcia ze strony specjalistycznych ośrodków w zakresie wdrożenia nowoczesnej metodyki. Dlatego, tak pilne wydaje się stworzenie nowego i spójnego z zaleceniami UE, zbioru procedur i przewodników dla służb odpowiedzialnych za utrzymywanie i rozwój sieci monitoringu radiologicznego kraju, szczególnie w aspekcie planów wdrożenia programu energetyki jądrowej. Wymaga to również opracowania i wdrożenia adekwatnych metod walidacji technik pomiarowych oraz stworzenie narzędzi i systemu kontroli.

Sama akredytacja PCA nie wystarcza, dlatego też w krajach UE posiadających elektrownie jądrowe istnieją laboratoria specjalizujące się wyłącznie w prowadzeniu ILC/PT dla laboratoriów danego kraju monitorujących stan radiologiczny środowiska, np. we Francji STEME (Environmental Sample Processing and Metrology). W Polsce, co roku badania porównawcze dla tzw. placówek specjalistycznych (9 Instytutów Badawczych) i podstawowych (32 stacje sanitarno-epi-

demiologiczne) organizuje Państwowa Agencja Atomistyki, zlecając przygotowanie próbek porównawczych i analizę wyników badań laboratoriom zewnętrznym wyłonionym w postępowaniu przetargowym. Udział w wyżej wymienionych badaniach nie jest obligatoryjny, a liczba mierzonych matryc i izotopów, ze względu na ograniczenia finansowe, o wiele mniejsza w porównaniu z badaniami tego typu prowadzonymi w innych krajach.

W przypadku monitoringu krajowego prowadzonego w warunkach wyjątkowych, np. wydostania się większych ilości substancji promieniotwórczych do środowiska, istotne jest także wprowadzenie standardowego formatu zapisu i struktury baz danych, gdzie wyniki są archiwizowane, ponieważ bazy te mają służyć jako zbiór danych wejściowych dla kodów komputerowych prognozujących stan radiologiczny środowiska i dokonujących ocen wielkości narażenia populacji. Rozwój energetyki jądrowej, wymaga też wdrożenia w sieci monitoringu metodyki rutynowych pomiarów promieniotwórczych gazów szlachetnych (ksenonu Xe i kryptonu Kr) oraz trytu ^3H (zwłaszcza jego związków organicznych) oraz węgla ^{14}C .

Tak więc, wdrażany w Polsce program energetyki jądrowej będzie wymagać monitoringu o lepszej czułości, precyzji oraz szybkości wykrywania zmian radiologicznych w środowisku.

W skali światowej, badania naukowe dotyczące szeroko rozumianej ochrony radiologicznej i bezpieczeństwa jądrowego przeżywają swój renesans. Wynika to z ponownego zainteresowania pozyskiwaniem czystej energii z bezpiecznych elektrowni jądrowych, projektu budowy reaktora termojądrowego ITER, zagrożenia użycia materiałów promieniotwórczych i broni jądrowej w celach terrorystycznych lub militarnych, jak i potrzeby jednoznacznego wyjaśnienia skutków działania niskich dawek promieniowania na organizm człowieka, jako naukowej podstawy systemu ochrony radiologicznej. Rozwijana jest też koncepcja objęcia ochroną radiologiczną nie tylko człowieka, ale i środowiska fauny i flory, a więc i rozszerzenie ochrony radiologicznej na inne istoty żywe (rekommendacje w tym zakresie zostały zapisane we wspomnianej powyżej DYREKTYWIE RADY 2013/59/EURATOM, z dnia 5 grudnia 2013 r.).

Polskie instytuty badawcze również przygotowują się do uczestnictwa w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej. We wrześniu 2011 r. nastąpiła reorganizacja i scalenie Instytutu Problemów Jądrowych i Instytutu Energii Atomowej w jeden duży ośrodek badawczy o nazwie Narodowe Centrum Badań Jądrowych, świadczący usługi na potrzeby rozwoju przemysłu jądrowego oraz prowadzący prace badawcze we wszystkich dziedzinach przemysłowego i medycznego wykorzystania technik jądrowych.

Istotne znaczenie dla integracji i wzmocnienia ośrodków związanych z sektorem elektroenergetycznym mają konkursy Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach strategicznego projektu badawczego „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej”, w tym szczególną rolę dla budowy nowoczesnej infrastruktury i zaplecza merytorycznego biorą dla potrzeb energetyki jądrowej pełni Zadanie 6 w/w projektu pt.: Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej.

Celem tego zadania jest opracowanie innowacyjnych technologii i metod pomiarowych, zapewniających ochronę

zdrowia populacji oraz zasobów środowiskowych na wszystkich etapach wdrażania energetyki jądrowej w Polsce oraz wytworzenie mechanizmów umożliwiających powstanie w Polsce zaplecza technicznego i naukowego, zdolnego do oceny i kontroli wpływu elektrowni jądrowej na zdrowie ludzi i środowisko, a jednocześnie konkurującego pod względem innowacyjności na arenie międzynarodowej. Te same mechanizmy ułatwią rozwój polskich specjalności naukowych m.in. dozymetrii promieniowania neutronowego, technologii detektorów promieniowania oraz badań dotyczących oddziaływania promieniowania z materiałem biologicznymi.

Kluczem do sukcesu programu energetyki jądrowej będzie wysoka wiarygodność (extended credibility) krajowego zaplecza eksperckiego (TSO) m.in. wspomagającego: rządowe organy nadzoru, instytucje użytkujące i zarządzające obiektem jądrowym, tzw. zainteresowanych (stakeholders), media i wreszcie ogół obywateli. Na licznych konferencjach poświęconych temu zagadnieniu podkreśla się, że budowanie ram zaufania wymaga spełnienia przez instytucje TSO kilku istotnych elementów i zasad jak: kompetencja i rzeczoznawstwo, niezależność administracyjna i finansowa od sektora jądrowego, przejrzystość i jawność, wykazywanie się uczciwością, efektywność, zdolność do szybkiej reakcji i inicjatywa, odpowiedzialność.

Spółeczna akceptacja energetyki jądrowej w Polsce będzie zależeć w dużej mierze od przekonania, że ocena wpływu energetyki jądrowej na ludzi i środowisko jest prowadzona na najwyższym możliwym poziomie i niezależna od interesów firm budujących i użytkujących elektrownie jądrowe. Wyjątkową, więc rolę ma tu do spełnienia szeroki program edukacyjny i skuteczna akcja informacyjna.

*dr Paweł Krajewski,
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej,
Warszawa*

Przypisy

- ¹ Chodzi tu np.: o sieć wczesnego ostrzegania (monitoring mocy dawki, skażeń powietrza), sieć monitoringu środowiska (opad, gleba, roślinność, produkty żywnościowe, wody powierzchniowe, woda pitna z ujęć wodociągowych), monitoring dawek indywidualnych (ekspozycji wewnętrznych i ekspozycji zewnętrznych)
- ² DYREKTYWA RADY 2013/59/EURATOM, z dnia 5 grudnia 2013 r., ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa w celu ochrony przed zagrożeniami wynikającymi z narażenia na działanie promieniowania jonizującego oraz uchylająca dyrektywy 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom i 2003/122/Euratom
- ³ Surveillance of environmental radiation in Finland. Annual report 2008, STUK-B 103. Helsinki 2009. 67 pp. red. MUSTONEN Raimo.
- ⁴ T. Szegvary, F. Conen, U. Stöhlker, G. Dubois, P. Bossew, G. de Vries (2007) Mapping terrestrial γ -dose rate in Europe based on routine monitoring data. Radiation measurements, 42: 1561-1572

DEKONTAMINACJA CHEMICZNA SYSTEMÓW PIERWOTNEGO OBIEGU CHŁODZĄCEGO W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Monika Łyczko, Barbara Filipowicz, Aleksander Bilewicz, Krzysztof Łyczko

Wstęp

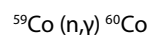
W obiegu chłodzącym reaktora jądrowego panują ekstremalne warunki dla materiałów, z których wykonane są elementy konstrukcyjne, ze względu na połączenie wielu czynników mających wpływ na procesy niszczenia tych materiałów, np. wysoka temperatura, ciśnienie, wysokie naprężenia, agresywne działanie chłodziwa i intensywne promieniowanie. Stopy używane do wykonania elementów konstrukcji w obiegu pierwotnym i wtórnym reaktora są w kontakcie z wodą o wysokiej temperaturze, podlegają ogromnym obciążeniom mechanicznym. Główne elementy pracujące na granicy ciśnień (zbiornik ciśnieniowy reaktora, generator pary, przewody parowe, turbiny) wykonane są ze stali niskowęglowej lub niskostopowej. Stal nierdzewna austenityczna (Typy 304, 304L, 316, 316L, 321, 347) dominuje w elementach konstrukcyjnych w rdzeniu reaktora. Elementy wymagające dużej wytrzymałości, takie jak sprężyny i łączniki są wykonane ze stopów na bazie niklu. Wybór odpowiednich stopów podyktowany jest ich wytrzymałością, odpornością na wysoką temperaturę i korozję. Podczas pracy reaktora korozja stanowi jednak poważny problem nie tylko ze względu na zużycie materiałów (np. pęknięcia) i usterki urządzeń, ale też z uwagi na nagromadzenie radioaktywnych produktów korozji.

Nagromadzenie radioaktywnych zanieczyszczeń podczas pracy reaktora jądrowego skutkuje większym narażeniem obsługi na promieniowanie, zwłaszcza podczas wykonywania prac naprawczych lub inspekcji, gdyż niezależnie od stopnia automatyzacji, zawsze istnieje konieczność ingerencji człowieka. Zgodnie z zasadą ALARA (As Low As Reasonably Achievable), narażenie pracowników elektrowni jądrowej powinno być najmniejsze, jak to jest możliwe. W praktyce jest to związane z tym, że procesy dekontaminacji elementów rdzenia reaktora jądrowego nie mogą powodować większego narażenia pracowników, niż w sytuacji, gdyby ich nie przeprowadzano.

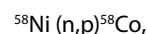
Źródłem radioaktywnych zanieczyszczeń mogą być produkty rozszczepienia oraz aktywacji. Produkty rozszczepienia i transuranowce powstają przez napromienienie neutronami materiałów rozszczepialnych i paliworodnych.

Materiały te mogą być obecne w niewielkiej ilości na zewnętrznej powierzchni elementów paliwowych. W normalnych przypadkach stanowi to niewielki wkład do całkowitego skażenia systemu. Jednak głównym źródłem produktów rozszczepienia i aktynowców jest wypłukiwanie ich z uszkodzonych elementów paliwowych.

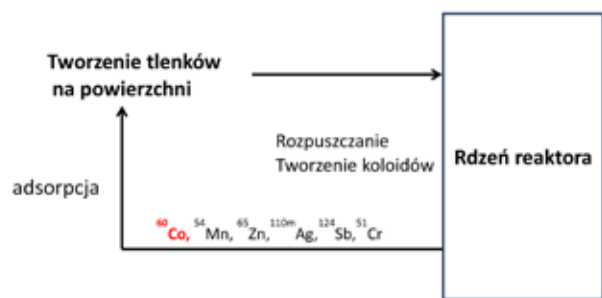
Niemniej większość promieniotwórczych zanieczyszczeń jest spowodowana neutronową aktywacją produktów korozji materiałów użytych do produkcji elementów konstrukcyjnych reaktora oraz obiegu chłodzącego. Ponieważ stalowe elementy konstrukcji reaktora jądrowego ulegają korozji, napromienione produkty korozji mogą oderwać się od tych elementów. Podczas korozji atomy metalu są uwalniane z powierzchni stopu, z którego wykonany jest dany element i wędrują z wodą w okolice rdzenia reaktora, gdzie ulegają napromienieniu. Wśród produktów korozji stanowiących zanieczyszczenie radioaktywne największe znaczenie mają nuklidy długożyciowe takie jak: ^{60}Co , ^{54}Mn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$ i ^{65}Zn , a także krócej żyjące ^{58}Co , ^{59}Fe , ^{51}Cr i ^{124}Sb . W reaktorach Light Water Reactor - LWR największy problem stanowi kobalt-60. Jego źródłem jest naturalny izotop kobaltu ^{59}Co obecny w materiałach konstrukcyjnych obiegu pierwotnego jako zanieczyszczenie na poziomie niskim ($\sim 0,2\%$) oraz na poziomie wysokim ($\sim 50\%$) w stopach, z których wykonane są elementy narażone na zużycie mechaniczne.[2] Korodujące stopy uwalniają kobalt do wody chłodzącej. Kobalt-60 powstaje przez aktywację kobaltu-59 neutronami termicznymi w reakcji:



Natomiast kobalt-58 jest produkowany w reakcji neutronów prędkich z niklem-58:



a nikiel jest głównym składnikiem stopów używanych do konstrukcji elementów obiegu pierwotnego.[3]



Rys. 1. Mechanizm powstawania radioaktywnych zanieczyszczeń

Pozostałe radioaktywne zanieczyszczenia powstają z pierwiastków obecnych w materiałach jako składniki stopu, zanieczyszczenia, dodatki przeciwkorozyjne lub ze spawów. W przypadku zanieczyszczeń radioaktywnych będących produktami korozji stopów, z których wykonane są elementy urządzeń, stężenie tych zanieczyszczeń stale wzrasta, gdyż atomy metalu po napromienieniu w okolicy rdzenia wracają na powierzchnię stopu jako depozyt.

Zanieczyszczenia w reaktorach chłodzonych wodą występują w obiegu w następujących formach:

- rozpuszczonych jonów
- koloidalnych agregatów o różnych strukturach
- makroskopowych agregatów w chłodziwie lub luźno przylegających do ścianek materiałów („CRUD”)
- warstw (filmów), które przylegają mniej lub bardziej do ścianek materiałów. Zwykle mają dobrze określoną strukturę krystaliczną.[4]

Usuwanie produktów korozji wymaga zastosowania odpowiednio opracowanego procesu dekontaminacji mechanicznej, elektrochemicznej lub chemicznej.

Procesy dekontaminacyjne

W latach 50. i 60., kiedy powstawały pierwsze reaktory jądrowe, nie przypuszczano, że kiedykolwiek podczas ich eksploatacji potrzebna będzie dekontaminacja, dlatego konstrukcja większości reaktorów nie była przystosowana do dekontaminacji. Zainteresowanie dekontaminacją wzrosło w latach 70., kiedy konieczna okazała się konserwacja generatora pary w elektrowni Indian Point 1 w Stanach Zjednoczonych, a nieco wcześniej wzrósł poziom radioaktywności wokół elektrowni Douglas Point w Kanadzie. Gdyby w powstającej elektrowni o większej mocy wystąpiło to samo zjawisko, stanowiłoby to poważne zagrożenie radiacyjne.[5] Rozpoczęły się więc prace nad procesem CAN-DECON (Canadian Decontamination) oraz jego modyfikacją - procesem CAN-DEREM. W Wielkiej Brytanii zaczęto stosować proces Citrox (Citric and Oxalic acids), a następnie proces LOMI (Low Oxidation State Metal Ions). W Niemczech zastosowano proces APAC (Alkali Permanganate Ammonium Citrate) oraz jego modyfikację MOPAC.[5] Od tamtej pory wprowadzono wiele zmian i ulepszeń do wyżej wymienionych procesów, gdyż produkty korozji będące głównym źródłem radioaktywnych zanieczyszczeń różnią się w zależności od regionu reaktora, z którego pochodzą, a procesy dekontaminacyjne są dostosowywane do konkretnych materiałów, z których zbudowane są poszczególne elementy.

Pomyślnie przeprowadzony proces dekontaminacji ma usunąć z oczyszczanego podłoża warstwy radioaktywnych zanieczyszczeń, nie powodując jednocześnie dalszej korozji materiału. Musi to być proces niezbyt agresywny, aby uniknąć redepozycji zanieczyszczeń i uszkodzenia powierzchni. Dla absolutnej pewności pomyślnego przeprowadzenia dekontaminacji musi być usunięta także wierzchnia warstwa metalu, gdyż zanieczyszczenia mogą sięgać głębiej, pod warstwę tlenków. Wydajność procesu dekontaminacji zazwyczaj jest oceniana na podstawie współczynnika dekontaminacji (DF – decontamination factor), który jest definiowany jako:

$$DF = \frac{\text{natężenie promieniowania przed dekontaminacją}}{\text{natężenie promieniowania po dekontaminacji}}$$

Wartość DF zależy od konkretnego miejsca wybranego do pomiaru oraz od techniki pomiaru, nie jest, więc taka sama dla wszystkich radionuklidów. Wartości DF podawane w literaturze muszą się pojawiać z dokładnym opisem procedur doświadczalnych.[4]

W procesach dekontaminacyjnych należy brać pod uwagę możliwość zniszczenia materiałów poprzez stosowane procedury. W zależności od rodzaju osadów i miejsca ich występowania stosuje się mniej lub bardziej agresywne metody usuwania zanieczyszczeń. W przypadku, gdy materiały mają kontakt z cieczą o niższej temperaturze, czyli elementy takie jak np. stalowa okładzina basenu z wypalonym paliwem, warstwy aktywowanych produktów korozji są luźno związane z powierzchnią materiału. Takie osady mogą być usuwane za pomocą technik mechanicznej dekontaminacji, np. poprzez szorowanie, ultradźwięki czy wymycie wodą pod ciśnieniem. Jednakże aktywowane osady ściśle związane z podłożem występujące na powierzchni urządzeń z obiegu pierwotnego reaktora w elektrowniach PWR lub BWR, wymagają bardziej wyszukanych sposobów dekontaminacji. Takim sposobem może być dekontaminacja chemiczna.[6]

Dekontaminacja chemiczna

Skład chemiczny oraz struktura warstwy tlenków na powierzchni materiału w obiegu pierwotnym zależy od typu reaktora oraz historii pracy elektrowni. Optymalny proces dekontaminacyjny powinien być odpowiednio dobrany i dopasowany do konkretnego reaktora. Jeśli poszczególne elementy są wykonane z materiałów o różnym składzie, proces dekontaminacji musi być bardziej agresywny.[6]

Płyny stosowane w procesach dekontaminacji chemicznej

Zastosowanie płynów dekontaminacyjnych do usuwania radioaktywnych produktów korozji z powierzchni elementów reaktora musi być przemyślane i dostosowane do warunków pracy reaktora oraz do rodzaju użytych materiałów. Projektując proces dekontaminacji bierze się pod uwagę nie tylko rodzaj materiału oraz warunki, w których jest on używany, ale też możliwość zniszczenia materiału przez sam proces dekontaminacji. Należy się też liczyć z techniczną stroną zastosowania konkretnych procesów, możliwością cykliczacji procesu, kosztami dekontaminacji oraz czasem jej trwania.

Obecnie w większości przypadków jako płyny dekontaminacyjne stosuje się chelatujące związki organiczne. Zazwyczaj dodatkowo w kąpielach dekontaminacyjnych znajdują się utleniacze takie jak KMnO_4 lub $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, których rola po-

lega na utlenieniu Co(II) do Co(III) i Fe(II) do Fe(III), które tworzą silniejsze kompleksy. W korzystnych warunkach w takich roztworach tlenki metali rozpuszczają się w stopniu wystarczająco wysokim do zastosowań praktycznych. Procesy tego typu stosuje się w starszych elektrowniach BWR, gdzie używa się głównie niskostopowych stali. Zwykle wystarcza wtedy zastosowanie procesu jednostopniowego.[6]

Proces APAC

(*Alkali Permanganate Ammonium Citrate*) to opracowany w 1970 r. dwustopniowy proces ze stopniem preoksydacji za pomocą jonów manganianowych(VII) oraz z wykorzystaniem roztworu cytrynianu amonu. Ulepszeniem procesu APAC jest **MOPAC** (Modified APAC), w którym stosuje się roztwór szczawianowo-cytrynianowy oraz dodaje się mrówczanu żelaza jako inhibitora.[6] Utlenianie za pomocą jonów manganianowych(VII) jest stosowane także w innych procesach jako pierwszy krok, wtedy przed nazwą procesu widnieje odpowiedni skrót – AP (Alkali Permanganate), NP (Nitric acid Permanganate) lub HP (Permanganate Acid HMnO₄).

Proces CAN-DECON™

opracowany został w Kanadzie przez Atomic Energy of Canada Limited (AECL) na potrzeby reaktorów typu HWR (CANDU – PHWR), a później BWR i PWR. W procesie tym w skład roztworu dekontaminacyjnego wchodzi EDTA, kwas cytrynowy i kwas szczawowy w stosunku molowym wynoszącym ok. 2: 1: 1. Często stosowany jest z użyciem jonów manganianowych(VII) w środowisku alkalicznym (AP CAN-DECON™).[7] Roztwór cyркуluje w układzie reaktora, a proces jest prowadzony w zakresie temperatur 85 – 120°C przez 24–72 h. Jednocześnie roztwór jest stale regenerowany, a kobalt-60 i inne rozpuszczone kationy metali są zatrzymywane na żywicy jonowymiennej. W latach 1979 – 1984 prowadzono dekontaminację tą metodą w 5 reaktorach PWR i 19 BWR.[8] Proces ten był szeroko testowany w celu określenia stopnia korozji materiałów komponentów reaktora pod wpływem stosowanych w nim reagentów, zwłaszcza pod kątem możliwości działania na sieć wewnątrzkrystaliczną (IGA – intergranular attack) i pęknięć spowodowanych korozją wewnątrzkrystaliczną (IGSCC – intergranular stress corrosion cracking). Badania wykazały, że proces CAN-DECON™ nie przyczynia się znacząco do ogólnej korozji elementów układu BWR. Okazało się jednak, że stale węglowe są najbardziej podatne na takie typy korozji pod wpływem procesu. Próbkę nieświatłoczułych materiałów z BWR nie wykazywały wzrostu wrażliwości na IGSCC w wyniku dekontaminacji tą techniką. Jednakże światłoczułe materiały z BWR w kontakcie z reagentami procesu przez 500 h wykazały znaczny wzrost IGSCC, gdy roztwór nie zawierał żadnych jonów Fe³⁺. W związku z tym obecność jonów żelaza podczas procesu dekontaminacji z CAN-DECON™ jest konieczna.[9] Z uwagi na szkodliwe działanie kwasu szczawowego na stal nierdzewną SS304 i stal węglową, proces CAN-DECON™ został zmodyfikowany poprzez eliminację kwasu szczawowego. Owocem tej modyfikacji jest proces CAN-DEREM. Jest to proces mniej agresywny i może być stosowany bez obaw przed korozją zarówno na stali nierdzewnej, jak i na powierzchni ze stali węglowej.[10]

Proces CITROX

(Pacific Nuclear) oparty jest na roztworach kwasu szczawowego i cytrynianu amonu, z dodatkiem FeSO₄ i dietylotiomocznika jako inhibitorów.

Roztwór CITROX zawiera kombinację organicznych związków chelatujących i kwasów (2,5% kwasu szczawowego, 5% dwuzasadowego cytrynianu amonu i 2% azotanu(V) żelaza(III)). W przypadku dekontaminacji stali węglowych dodawany jest też inhibitor korozji dietylotiomocznik (0,1%). Zasada działania jest podobna do CAN-DECON™ i innych procesów, następuje rozpuszczanie osadów i kompleksowanie kationów metali. Stosunek kwasu szczawowego do cytrynianu musi być mniejszy lub równy 0,5, co przeciwdziała powtórnemu osadzaniu osadów. Proces CITROX zazwyczaj trwa ok. 8 godzin i jest prowadzony w temperaturze 80°C.[7]

Proces LOMI

Technologia LOMI (Low Oxidation State Metal) została opracowana, aby zmniejszyć ilość niebezpiecznych ciekłych odpadów, zredukować korozję, a przy tym zwiększyć skuteczność usuwania radioaktywnych zanieczyszczeń. Proces został opracowany w latach 80. XX w. dla Electric Power Research Institut (EPRI).[7] W procesie LOMI wykorzystuje się roztwory kwasu pikolinowego jako chelatora oraz mrówczanu wanadu(II) jako reduktora. Alternatywą dla działania kwasów organicznych na powłokę Fe₂O₃ jest tu dodatek reduktora, mrówczanu wanadu(II), który redukuje Fe(III) do Fe(II), powodując rozpuszczanie osadu, a następnie rozpoczyna się chelatowanie za pomocą kwasu pikolinowego. Proces był stosowany z powodzeniem do dekontaminacji SGHWR. Minusem jest tu niestabilność wanadu(II) oraz zbyt duża zawartość Cr(III) w osadzie, gdyż mrówczan wanadu nie redukuje Cr(III). Dlatego w tych przypadkach, gdy zawartość Cr(III) w osadzie przekracza 15%, szybkość rozpuszczania osadu w tym procesie była zbyt niska. Rozwiązaniem jest dodanie etapu preoksydacji (AP lub NP) i utlenienia Cr(III) do Cr(VI).[6]

Proces LOMI został usprawniony m.in. również w ten sposób, że zaproponowano zmniejszenie stężeń substancji w roztworze LOMI oraz użycie mniejszej ilości żywicy i regenerację roztworu kwasu pikolinowego. Proces obejmuje wstępne wstrzykiwanie rozcieńczonego roztworu LOMI: mrówczanu wanadu, kwasu pikolinowego i wodorotlenku sodu do systemu, który ma być zdekontaminowany, następnie roztwór jest przepuszczany przez żywicę kationowymenną. Kationit służy do usuwania metali w podobny sposób, jak w innych procesach dekontaminacji, ale w tym przypadku roztwór kwasu pikolinowego jest zwracany do roztworu LOMI. Ponieważ stężenie składników jest znacznie mniejsze niż w przypadku konwencjonalnych procesów LOMI, ilość żywicy kationowymiennej jest również znacznie mniejsza, zmniejsza się więc ilość radioaktywnych odpadów.[11]

Proces DCD

(Dilute Chemical Decontamination) opiera się na użyciu roztworu zawierającego kwas cytrynowy, szczawowy i EDTA (w stężeniu 0,1 g/l) oraz inhibitora, a osiągnięte w testach laboratoryjnych współczynniki dekontaminacji wynoszą ok. 10. Najlepsze wyniki osiąga się z użyciem kroku peroksydacji. Niewątpliwie do zalet procesu należy:

- użycie niskich stężeń rozpuszczalników
- możliwość ich dodania wprost do wody chłodzącej

- przeprowadzenie dekontaminacji tydzień po wyłączeniu reaktora
- proces zajmuje tylko trzy dni
- proces generuje tylko stałe odpady radioaktywne na żywicy jonowymiennych.

Podczas zastosowania tego procesu do oczyszczania elementów obiegu pierwotnego reaktora PHWR w Indiach pojawiło się kilka trudności, np.: EDTA było usuwane przez żywicę, przez co jego stężenie podczas prowadzenia procesu zmniejszało się, wartości DF były za niskie na powierzchniach innych niż stal węglowa, występowała elucja kobaltu-60 z używanego kationitu, a pojemność jonowymienna była niewielka dla Cu^{2+} i Ni^{2+} . Z tego powodu rozpoczęto prace nad znalezieniem zamiennika EDTA i okazało się, że lepszą alternatywą może być kwas nitrylotrioctowy (NTA).[12]

Proces CORD

(Chemical Oxidation Reduction Decontamination) opracowany przez Siemens KWU jest udoskonaleniem procesu MOPAC. Po raz pierwszy w wersji podstawowej zastosowany został w 1986 r., modyfikowany później i stosowany jako CORD UV (CORD Ultra Violet Light) (1994) oraz CORD FC (CORD Family Concept) (2000).[5] Aktualnie wszystkie modyfikacje procesu rozwija AREVA NP GmbH. Jest to wieloetapowy, niskostężeniowy proces, który zaczyna się od utleniania tlenków zawierających Cr^{3+} za pomocą HMnO_4 , po czym następuje redukcja kwasu manganianowego(VII) i dekontaminacji z użyciem kwasu szczawiowego. Proces jest prowadzony w 95°C i może być przeprowadzany w dowolnej ilości cykli.[6,7]

Podsumowując można stwierdzić, że większość stosowanych płynów dekontaminacyjnych bazuje na roztworach kwasów szczawiowego i cytrynowego lub szczawianów i cytrynianów. Różnego rodzaju dodatki, takie jak inhibitory czy utleniacze są zwykle stosowane by usprawnić proces, a jednocześnie zapobiec zwiększeniu narażenia na korozję dekontaminowanych materiałów. Czasem do związania kationów metali wykorzystuje się inne chelatory, jak np. EDTA. W wielu procesach stosuje się preoksydację jako metodę ułatwiającą rozpuszczanie osadów, np. tlenku chromu. Wtedy w roztworze utleniającym znajdują się jony manganianowe(VII) w środowisku NaOH (AP), HNO_3 (NP) lub HMnO_4 (HP). Dekontaminacja chemiczna jest skuteczna, ale posiada także szereg istotnych wad.

Zalety dekontaminacji chemicznej

- Dekontaminacja chemiczna jest stosunkowo łatwa i relatywnie tania, nie wymaga stosowania dodatkowego wyposażenia.
- Przy odpowiednim doborze odczynników chemicznych możliwe jest usunięcie praktycznie wszystkich radionuklidów z zanieczyszczonej powierzchni.
- Dekontaminacja chemiczna może także usunąć radioaktywność z powierzchni wewnętrznych.
- Chemiczne procesy powodują stosunkowo niewielkie zanieczyszczenia powietrza, podobnie jak w przypadku systemu zamkniętego.

Wady dekontaminacji chemicznej

- Główną wadą dekontaminacji chemicznej jest generowanie dużych ilości wtórnych odpadów ciekłych, znacznie większych objętości niż w przypadku np. metod elektrochemicznych. Należy zatem stosować odpowiednie procesy do regeneracji tych roztworów.
 - Zazwyczaj roztwory dekontaminacyjne muszą być podgrzewane do temperatury 70-90°C żeby poprawić kinetykę procesu dekontaminacji.
 - Toksyczne i powodujące korozję roztwory muszą być przetwarzane.
 - Chemiczna dekontaminacja nie jest zbyt efektywna na powierzchniach porowatych.[10]
- Należy jednak zwrócić uwagę, że w porównaniu z początkiem rozwoju technik dekontaminacyjnych (np. MOPAC), obecnie ilości wtórnych odpadów ciekłych są kilkakrotnie mniejsze (np. CORD i modyfikacje).[5]

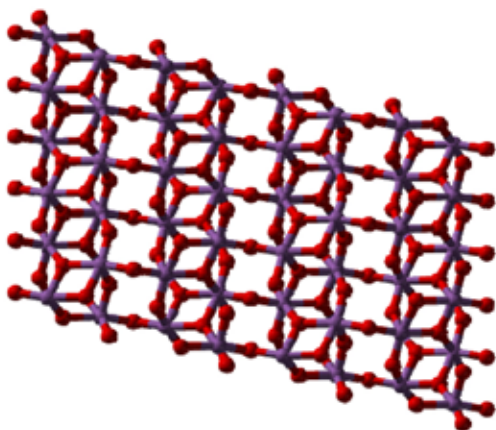
Usuwanie radionuklidów z płynów dekontaminacyjnych

Przez lata prowadzono liczne badania nad otrzymywaniem nowych nieorganicznych wymienników jonowych, które pozwoliłyby na bardziej efektywne usuwanie radionuklidów średnio i wysokoaktywnych, z odpadów dekontaminacyjnych. Nieorganiczne wymienniki jonowe są związkami o dużej stabilności chemicznej, jak również odporne radiacyjnie i termicznie. Do tej grupy należą, m.in. tlenki metali, kwaśne sole wielowartościowych metali, zeolity czy żelazocyjaniany metali przejściowych.[13] Najbardziej pożądaną cechą nieorganicznych wymienników jonowych jest selektywność, na którą składa się szereg czynników, takich jak: specyficzne oddziaływania, grupy funkcyjne, efekt sitowy oraz solwatacja jonów.[14]

Największą grupę nieorganicznych jonitów stanowią zeolity. Są to krystaliczne, uwodnione glinokrzemiany metali grup I i II układu okresowego (Na, K, Mg, Ca, Sr, Ba), w których rozmiar porów (0,3-1 nm) zależy od rodzaju struktury zeolitu. W zeolitach naturalnych stosunek molowy krzemu do glinu Si/Al w sieci krystalicznej leży w granicach 1-6. Dolną granicę wyznacza reguła Loewensteina, zgodnie z którą tetraedry AlO_4 nie mogą łączyć się z innymi tetraedrami AlO_4 wspólnym atomem tlenu, natomiast mogą łączyć się jedynie w sieci krystalicznej z tetraedrami SiO_4 , tetraedry krzemowe mogą łączyć się bezpośrednio ze sobą. Szkielet tworzą występujące na przemian tetraedry AlO_4 i SiO_4 przy stosunku Si/Al=1. Tetraedryczne atomy krzemu w syntetycznych zeolitach mogą być zastąpione przez fosfor, a atomy glinu przez gal, chrom i żelazo. Dzięki ich właściwościom jonowymiennym, zeolity są szeroko rozpowszechnionymi sorbentami stosowanymi podczas procesów usuwania izotopów będących produktami rozszczepienia uranu z odpadów promieniotwórczych, jak również produktów korozji urządzeń w reaktorze jądrowym. Zeolity cechuje również wysoka pojemność jonowymienna i selektywność, co jest niezbędne podczas rozwiązywania technologicznych problemów wyodrębniania, rozdzielania i zateżniania radionuklidów. Dlatego też materiały te znalazły zastosowanie jako doskonałe wymienniki jonowe (kationity). Jako przykład może tu posłużyć klinoptiolit, który sorbuje niemal wszystkie radionuklidy będące produktami korozji w elektrowni jądrowej. Szczególnie wysoką efektywność usuwania uzyskuje się w odniesieniu do jonów: Zn^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , Cr^{+3} oraz Mn^{2+} . Badania dotyczące usuwania kobaltu z płynów dekontaminacyjnych wykazały, że najlepsze właściwości wy-

kazują zeolity A, X oraz Y. Natomiast znacznie gorsze rezultaty uzyskano dla erionitu i ZSM-5.

Do usuwania radionuklidów takich jak ^{51}Cr , ^{60}Co , ^{125}Sb , ^{65}Zn , ^{54}Mn , $^{110\text{m}}\text{Ag}$, mogą posłużyć tlenki wielowartościowych metali (MnO_2 , TiO_2 , ZrO_2 , SnO_2 itd.).[15] Otrzymano różne formy krystaliczne i amorficzne tlenków, które wykazują powinowactwo do kationów metali, głównie przejściowych.[16] W badaniach nad usuwaniem nuklidów promieniotwórczych używano m.in. tlenku manganu (IV), uzyskiwanego w reakcji redoks między MnSO_4 i KMnO_4 . Z dużej ilości odmian krystalicznych tego związku Marton i współpracownicy wyselekcjonowali jedną formę o powierzchni właściwej $701,63 \text{ m}^2/\text{g}$ i wielkości ziaren $1-3 \mu\text{m}$ selektywną względem jonów Ag^{+17} . Wiele uwagi w literaturze poświęcono badaniom właściwości sorpcyjnych tlenku cyrkonu (ZrO_2). Jego właściwości jonowymienne po raz pierwszy zostały opisane przez Krausa i współpracowników.[18] Forma krystaliczna ZrO_2 jest otrzymywana przez alkalizację soli cyrkonylowych roztworami zasad, a następnie jest ogrzewany w środowisku zasadowym. Jego właściwości jonowymienne pozwoliły na zastosowanie go do wydzielania anionów (I^- , Br^- , Cl^-) oraz wielowartościowych kationów (Ru , Sc , V , Mo). Następnym bardzo dobrze przebadanym tlenkiem pod względem jego właściwości jonowymiennych jest tlenek antymonu (Sb_2O_3). Posiada on regularną, tunelową sieć krystaliczną o strukturze rutylu (rys.2). Sb_2O_3 jest kationitom o silnie kwaśnych grupach funkcyjnych.

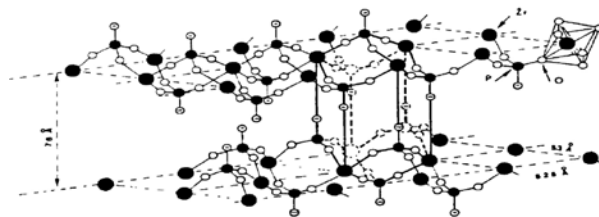


Rys. 2. Sieć krystaliczna Sb_2O_3

Zarówno w środowisku kwaśnym, jak i obojętnym jonit wykazuje powinowactwo względem jonów ^{90}Sr będącym jednym z produktów rozszczepienia uranu w elektrowni jądrowej.[19]

Kolejnym bardzo szeroko rozpowszechnionym ze względu na cenę i łatwość w otrzymywaniu wymienniczem jonowym jest tlenek tytanu (TiO_2). Dwutlenek tytanu jest najpowszechniejszym i najtrwalszym tlenkiem tytanu. Jest to biały proszek o temperaturze topnienia ok. 1830°C i temperaturze wrzenia ok. 2500°C . Tlenek tytanu (IV) występuje naturalnie w trzech odmianach polimorficznych: jako minerały - rutyl i anataz o strukturze tetragonalnej, oraz rombowy brookit. Anataz i brookit powyżej temperatury $800-900^\circ\text{C}$ przechodzą w najtrwalszą odmianę alotropową TiO_2 - rutyl. Warunki syntezy TiO_2 mają znaczący wpływ zarówno na skład, strukturę, jak również własności jonowymienne tlenku, o zdolności jonowymiennej decyduje także rodzaj kationu w wodorotlenku użytym do syntezy tlenku tytanu.

W Instytucie Chemii Dalekowschodniego Departamentu Rosyjskiej Akademii Nauk, we Władywostoku, w Federacji Rosyjskiej, przeprowadzono badania nad dostępnym handlowo tlenkiem tytanu(IV) w postaci Degussa P25 oraz TiO-M , dotyczące unieszkodliwiania wysoko i średnioaktywnych odpadów promieniotwórczych. Zaobserwowano wzrost powinowactwa do jonitu wraz ze wzrostem promienia jonowego sorbowanego kationu, zarówno wśród kationów metali grupy I, jak i grupy II układu okresowego[2]. Do badań stosowano roztwory symulujące wysokoaktywne odpady, zawierające środki kompleksujące, t.j. siarczany(VI), szczawiany, węglany i manganiany(VII). Wykazano, że konwencjonalne selektywne sorbenty, takie jak zeolity czy tlenek manganu (IV), były dla tych roztworów nieefektywne.[20] Rosiková i współpracownicy, podczas badań nad oczyszczaniem płynów dekontaminacyjnych powstałych po procesie AP-CITROX, użyli dużej grupy kationitów nieorganicznych: fosforanu cyrkonu (ZrP-PAN/SF)[21,22], tytanianu sodowego (NaTiO-PAN/SF), syntetycznego zeolitu (Na-Y), mordentu (M315), siarczku żelaza (FeS), tlenku cyrkonu (ZrO) i tlenku tytanu (TiO-M , użytego również jako fotokatalizator). Uzyskane wyniki wskazują na potencjalnie duże możliwości wykorzystania ZrP i NaTiO_3 podczas oczyszczania płynów dekontaminacyjnych z nuklidów promieniotwórczych.[23]



Rys. 3. Dwuwarstwowa struktura α -fosforanu zyrkonu (ZrP)²²

W ostatnich latach pojawiły się doniesienia literaturowe o nowych nanoformach tlenku tytanu(IV) i tytanianów, które ze względu na rozbudowaną powierzchnię i większą porowatość, pozwoliłyby na wykorzystanie ich jako nowy rodzaj nanowymienniczy jonowego kationów i ewentualnego ich zastosowania do usuwania radionuklidów z płynów dekontaminacyjnych.[21]

Praca powstała w ramach zadania Nr 8 pt. „Analiza procesów zachodzących przy normalnej eksploatacji obiegów wodnych w elektrowniach jądrowych z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego” w ramach strategicznego projektu badawczego pt. „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

dr Monika Łyczko,
mgr Barbara Filipowicz,
prof. dr hab. Aleksander Bilewicz,
dr Krzysztof Łyczko,
Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura

- [1] S.J. Zinkle, G.S. Was, Materials challenges in nuclear energy, *Acta Materialia* 61 (2013) 735–758
- [2] Man-Sung Yim, Howard Ocken, "Radiation Dose Management in Nuclear Power Plants", *Progress in Nuclear Energy*, Vol. 39, No. 1, pp. 31-51, 2001
- [3] E. McAlpine, W.H. Hocking, Corrosion-Product Release in Light Water Reactors, NP-3460 Research Project 2008-1, Interim Report, March 1984
- [4] Decontamination of Operational Nuclear Power Plants, Report of A Technical Committee Meeting on the Procedures for Decontamination of Operating Nuclear Power Plants and Handling of Decontamination Wastes organized by the International Atomic Energy Agency and held in Mol, Belgium, 23-27 April, 1979, A Technical Document Issued By The International Atomic Energy Agency, Vienna, 1981
- [5] Rolf Riess, Suat Odar, Jan Kysela, Decontamination and Steam Generator Chemical Cleaning, Advanced Nuclear Technology International, Krongjutarvägen 2C, SE-730 50 Skultuna, Sweden, October 2009
- [6] K.-H. Neeb, The Radiochemistry of Nuclear Power Plants with Light Water Reactors, Berlin, New York, 1997
- [7] Petri Kinnunen, Research Report, R-00299-08, ANTIOXI Decontamination techniques for activity removal in nuclear environments, 2008
- [8] R.A. Speranzini, R. Voit, M. Helms, Decontamination Of Beaver Valley Steam Generators Using The Can-Derem Process, Atomic Energy of Canada Limited, Chalk River. Ontario KOJ 1J0, 1991
- [9] Compilation of corrosion data on CANDECON™ process, Vol. 3: Influence of CANDECON™ on stress corrosion cracking – 1984 Constantextensionrate tests, EPRI report NP4222, 1987.
- [10] Vinod Kumar, Rajeev Goel, Raman Chawla, M. Silambarasan, and Rakesh Kumar Sharma, Chemical, biological, radiological, and nuclear decontamination: Recent trends and future perspective, *Pharm. Bioallied Sci.* 2010 Jul-Sep; 2(3): 220–238.
- [11] Daniel. D. Wasil, Regenerative LOMI decontamination process, US Patent 5805654, 1998
- [12] S. Velmurugan, A.L. Rufus, V.S. Sathyaseelan, V. Subramanian, V.K. Mittal, S.V. Narasimhan, Experience with Dilute Chemical Decontamination in Indian Pressurized Heavy Water Reactors, *Energy Procedia*, 00 (2010) 000-000, <http://www.igcar.ernet.in/events/anup2010/SVelmurugan.pdf>
- [13] Y. Park; Y.C. Lee; W.S. Shin; S.J. Choi; Removal of cobalt, strontium and cesium from radioactive laundry wastewater by ammonium molybdophosphate-polyacrylonitrile (AMP-PAN); *Chem. Eng.J.* 2010, 162,685-695.
- [14] K. Dorfner: Ion exchangers, properties and applications; Ed. by Andree Fe Coers. [3d Ed.]; Ann Arbor Science, 1972
- [15] J. R. Wiley; Decontamination of Alkaline Radioactive Waste by Ion Exchange; *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.* 1978,17, 67-71
- [16] O.J. Heinonen, J. Lehto, J.K. Miettinen; Sorption of strontium (II) and radio strontium ions on sodium titanate, *Radiochim. Acta*, 1981, 28,93
- [17] Gy. Marton, T. Szanya, L. Hanak, G. Simon, J. Hideg, J. Makai, J. Schunk *Chem.Eng.Sc.*1996, 51,2655-2660
- [18] A. Dyer w: Inorganic Ion Exchangers in chemical analysis, CRC Press, Boca Raton, FL, 1991, M. Quereshi and K.G. Varshney (Eds)
- [19] A. Clearfield, Inorganic ion exchangers, past, present, and futureSolvent Extraction. *Ion Exchange*, 2000, 18, 655
- [20] IAEA-TECDOC-1273; Decommissioning techniques for research reactors; Final report of a co-ordinated research project 1997–2001, February 2002
- [21] L. Baetslé, D. Huys; Ion exchange properties of zirconyl phosphates—II: Ion exchange equilibria on zirconyl phosphate; *J.In. Nucl.Chem.*;1961,21, 133–140
- [22] United States Patent, Kolarik et al. Patent Number: 4,839,101 Date of Patent: Jun. 13, 1989,
- [23] K. Rosíková, J. John, Šebesta F. Separation of radionuclides from chemical and electrochemical decontamination wastes, *J.Radioanal.Nucl.Chem.* 2003, 255, 397–402
- [24] R. Chakraborty, B. Sen, S. Chatterjee, P. Chattopadhyay, *Radiochim. Acta*, DOI 10.1524/ract.2013.1991

REAKTORY JĄDROWE PRZYSZŁOŚCI I LIKWIDACJA PROBLEMU WYSOKOAKTYWNYCH ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Tomasz Denkiewicz

Wprowadzenie

W Polsce jest czas debaty i ważyć się losy budowy elektrowni jądrowych. W tym kontekście warto zadać pytanie, jak wygląda sytuacja cywilnej elektroenergetyki jądrowej na świecie? Energetyka jądrowa, podobnie jak w przypadku innych technologii i choćby systemu nawigacji satelitarnej - GPS (ang. Global Positioning System), czy Internetu, z których obecnie korzystamy, ma początki związane z zastosowaniami wojskowymi. W dniu 8 grudnia 1953 r. prezydent Stanów Zjednoczonych Dwight Eisenhower wygłosił przemówienie zatytułowane "Atoms for Peace" (tłum. Atom dla Pokoju). Po tym wezwaniu w 1957 r. został uruchomiony pierwszy na świecie prototyp w pełni cywilnej elektrowni lekkowodnej PWR¹ - Shippingport Atomic Power Station. Równolegle, prywatna kompania General Electric (GE), przy wsparciu laboratoriów rządowych USA, prowadziła badania nad konstrukcją reaktora lekkowodnego typu BWR, którego pierwszy prototyp powstał w 1960 r. Pierwszą całkowicie komercyjną elektrownią jądrową była elektrownia Yankee-Rowe PWR, która także została uruchomiona w 1960 r. W latach 70. w USA było dużo zamówień na budowę elektrowni jądrowych PWR i BWR, nastąpił szybki rozwój technologii i przyrost mocy elektrowni z 300, potem 600 do 1000 MWe². Wystartowały programy jądrowe reaktorów chłodzonych wodą lekką we Francji, Japonii, Niemczech, Rosji, Szwecji. Anglia postawiła na reaktory chłodzone gazem.

Według danych na styczeń 2014 r., 11% produkowanej na świecie energii elektrycznej pochodzi z elektrowni jądrowych. Cywilne elektrownie jądrowe od początku ich historii pracują w 33 krajach. Obecnie³ 430 reaktorów pracuje w 31 krajach. Całkowita zainstalowana moc wynosi 370 GWe⁴, kolejne 70 jednostek jest w trakcie budowy [1]. Sumarycznie, na całym świecie mamy doświadczenie 15 500 reaktorów-lat pracy reaktorów jądrowych.

Obecnie energetyka jądrowa, razem z zakładami wydobywania, wzbogacania uranu, zakładami przerobu wypalonego paliwa, składowania materiałów promieniotwórczych, pochodzących od medycznej gałęzi przemysłu jądrowego, różnych zakładów technologicznych, a także oczywiście od zakładów energetycznych jądrowych, stanowi ogromną gałąź przemy-

słu. Statystyki pokazują jak rynek energetyki jądrowej wygląda obecnie. A jakie są możliwe drogi rozwoju energetyki jądrowej? Spróbujmy, skupiając się jedynie na przemyśle jądrowym wykorzystującym reakcję rozszczepienia jądrowego jako źródło energii, odpowiedzieć choć w ograniczony sposób na tak zadane pytanie. Czy perspektywy rozwoju technologicznego energetyki jądrowej są już u skraju możliwości? Jaką przyszłość energetyki jądrowej rysują decydenci krajów z już rozwiniętą gałęzią przemysłu jądrowego, czy jest możliwa rewolucja wydajnościowa ze względu na wskaźnik EROI (ang. energy returned on energy invested) lub związana z bezpieczeństwem?

Trzy generacje reaktorów jądrowych

Podziału reaktorów jądrowych można dokonywać ze względu na różne kryteria. Ze względu na kryterium rodzaju zachodzących w reaktorze reakcji jądrowych, używanego paliwa, chłodziwa, moderatora. Popularną klasyfikacją jest podział na generacje I, II, III i IV [4]. W ramach tego podziału ujęte są wszystkie rodzaje elektrowni jądrowych budowanych w celu produkcji energii elektrycznej, niezależnie od firmy, która je zaprojektowała, czy rodzaju samego reaktora. W tej klasyfikacji odzwierciedlona jest historia energetyki jądrowej i bardzo prawdopodobne, że jej przyszłość. Klasyfikacja ta uwzględnia także kilka istotnych cech związanych z bezpieczeństwem elektrowni jądrowych.

Generacja I: obejmuje wczesne reaktory z lat 50. i 60., które były prototypami dla reaktorów generacji II obejmującej reaktory w większości budowane w latach 1970 do 1990. Pierwotnie planowany czas ich pracy wynosił 40 lat. Generacja III, to reaktory, które stanowią jakby kolejne ogniwo ewolucyjne po reaktorach generacji II. Oznacza to, że nie stanowią one jakościowo nowych rozwiązań technologicznych, ale mają wiele usprawnień technologicznych komponentów znanych z poprzedniej generacji. Obecnie wyróżnia się też reaktory generacji III+. Wewnątrz społeczności związanej z przemysłem jądrowym krążą dwa rodzaje kryteriów, których spełnienie decyduje o tym czy dany reaktor jest klasyfikowany jako generacja III+. Jednym z kryteriów jest założenie na etapie projektu możliwości wystąpienia awarii ze stopieniem rdze-

nia włącznie i posiadanie rozwiązań zapewniających, w takim przypadku, integralność obudowy zewnętrznej, którą stanowi właściwy budynek reaktora, jak to jest w przypadku obecnych konstrukcji typu PWR i BWR [5]. Według tego kryterium jako generację III+ można zaliczyć między innymi elektrownie: ABWR, ESBWR, EPR, WWER-1000, AP-1000³. Drugie, bardziej powszechne, funkcjonujące kryterium jest rozszerzeniem pierwszego, które dodatkowo zakłada, że reaktory powinny być wyposażone w pasywne systemy bezpieczeństwa, co oznacza, że przez określony czas (na przykład 72 godziny, jak w przypadku ABWR [6], ESBWR [7] czy AP-1000 [8]), nie wymagają one ani żadnej ingerencji człowieka ani dostarczenia energii z zewnątrz w żadnej postaci, nawet w przypadku poważnej awarii, ze stopieniem rdzenia włącznie. Według takiego kryterium z wymienionych dotychczas reaktorów do generacji III+ zaliczają się: ABWR, ESBWR, AP-1000. Obecnie klasyfikację wieńczy generacja IV, która szerzej jest opisana w dalszej części artykułu.

Bardzo istotna różnica, z punktu widzenia ogółu społeczności, występuje między generacjami II i III. Otóż granica ram czasowych, określających zasięg danej generacji, pokrywa się z granicą między dwiema różnymi filozofiami podejścia do zagadnienia bezpieczeństwa obiektów jądrowych. W przypadku generacji II, na etapie projektowym, inżynierom i całemu społeczeństwu jądrowemu towarzyszyło przekonanie, że technologia jest bezpieczna i wystąpienie poważnego wypadku jądrowego, na co wskazywały szacunki, jest bardzo mało prawdopodobne. Tak mało prawdopodobne, że praktycznie niemożliwe. W związku z tym nieuzasadnione byłoby podnoszenie kosztów budowy elektrowni jądrowych przez wyposażanie je w systemy minimalizujące skutki poważnych wypadków jądrowych, których prawdopodobieństwo wystąpienia jest znikome. Pomimo małego szacunkowo prawdopodobieństwa⁶ wystąpienia poważnych wypadków, praktyka pokazała, że takie jednak się zdarzają. Czasami w wyniku zaniedbań, czy też naruszeń ustalonych procedur bezpieczeństwa w sposób tak karygodny, że niewyobrażalny - jak to miało miejsce w Czarnobylu na przykład [5,10]. Warto w tym miejscu nadmienić, że reaktory tego samego typu, jakie pracowały w Czarnobylu, RBMK, nadal są w użyciu na terenie Rosji - trzy bloki w Smoleńsku, 4 bloki w Sosnowym Borze w sąsiedztwie Petersburga i 4 bloki w Kursku.

Przykłady Czarnobyla (26 kwietnia 1986 r.), Three Mile Island - 2 (TMI-2, 28 marca 1979 r.) i Fukushima (11 marca 2011 r.), pokazały, że poważny wypadek jądrowy, mimo że jest mało prawdopodobny, to nie jest niemożliwy. Wypadki jądrowe zawsze odbijają się szerokim echem i, mimo że na przykład w TMI-2 doszło do znikomych uwolnień substancji radioaktywnych, ok. 80 Ci⁷ zostało uwolnionych w ciągu 30 dni od wypadku, a w najbliższym otoczeniu reaktora materiał radioaktywny jaki został znaleziony obejmował ok. 0,5 Ci Cs137 i 0,1 Ci Sr90 [5]. Innymi słowy, w najbliższym otoczeniu elektrowni, organizm człowieka otrzymał dawkę promieniowania trzykrotnie niższą niż przy standardowym prześwietleniu płuc. Jednak wypadek ten spowodował znaczne spowolnienie rozwoju energetyki jądrowej w Stanach Zjednoczonych. TMI-2 było dla energetyki jądrowej w USA tym, czym dla energetyki jądrowej w Europie był Czarnobyl. W 1979 r. liczba planowanych reaktorów zmalała w skali światowej w jednostkach zamówionej mocy elektrycznej o 8 GWe. Co prawda 8 nowych elektrowni zostało zaplanowanych, ale 14 wcześniej planowanych zostało anulowanych. W kolejnych latach w Stanach

Zjednoczonych Ameryki kontynuowano anulowanie wcześniej zaplanowanych inwestycji jądrowych [10].

Obecnie przemysł jądrowy kieruje się doktryną "nuclear accident somewhere is nuclear accident everywhere" (wypadek jądrowy gdzieś na świecie, jest wypadkiem jądrowym wszędzie). Pod nazwą reaktorów generacji III sklasyfikowane są elektrownie jądrowe, których konstrukcja jest następnym krokiem w ewolucji elektrowni II generacji. Nie stanowią one całkowicie nowego rozwiązania technologicznego od podstaw. Z racji swojej konstrukcji III generacja ma być bardziej ekonomiczna w eksploatacji, ale co najbardziej interesujące z punktu widzenia całego społeczeństwa, elektrownie te są wyposażone w systemy bezpieczeństwa dedykowane zapobieganiu i minimalizacji skutków poważnych wypadków jądrowych. Z jednej strony, sam fakt możliwości wystąpienia poważnego wypadku jądrowego, wysokie koszty ponoszone przez firmy w przypadku wystąpienia takiego wypadku i spowolnienie rozwoju z powodu ograniczenia inwestycji w energetykę jądrową po takim wydarzeniu, a z drugiej strony pojawiające się ustawodawcze obostrzenia ze strony dozorców jądrowych państw i organizacji międzynarodowych, spowodowały zmianę w podejściu do kwestii bezpieczeństwa w kontekście możliwości wystąpienia poważnego wypadku jądrowego.

Mimo bardzo małego prawdopodobieństwa wystąpienia wypadku z uszkodzeniem rdzenia jakiegokolwiek rodzaju w nowych konstrukcjach ($1,7 \times 10^{-8}$ /rok pracy reaktora - ESBWR [7], $1,6 \times 10^{-7}$ /rok pracy reaktora - ABWR [6], $5,1 \times 10^{-7}$ /rok pracy reaktora - AP-1000 [8], $6,1 \times 10^{-7}$ /rok pracy reaktora - EPR [9]), dla elektrowni generacji III już na etapie projektowym zakłada się możliwość wystąpienia poważnego wypadku jądrowego. Na myśl nasuwa się analogia tej sytuacji do rynku motoryzacyjnego - obecne reaktory to samochody wyposażone w pasy i poduszki powietrzne, podczas gdy reaktory poprzedniej generacji nie miały takiego wyposażenia. Specjaliści przekonywali, że reaktory II generacji są całkowicie bezpieczne, że poważne wypadki nie mogą się wydarzyć, a miały miejsce. Jak rozumieć twierdzenie, że generacja III jest całkowicie bezpieczna? Dlaczego społeczeństwo miałooby w to uwierzyć? Odpowiedzią jest właśnie powyższe wytłumaczenie jakościowej różnicy w filozofii podejścia do konstrukcji obiektów jądrowych. Na etapie planowania, wzięte są pod uwagę nawet teoretycznie niemożliwe zdarzenia, poważne wypadki jądrowe włącznie ze stopieniem całego rdzenia. Mimo znikomo małego prawdopodobieństwa ich wystąpienia, tak małego, że można uznać wystąpienie takiego wypadku za niemożliwe, elektrownie jądrowe są wyposażone w systemy mające na celu nie tylko im zapobiegać, ale też minimalizować skutki ich ewentualnego wystąpienia.

Generacja IV

Osobnym rozdziałem w opowiadaniu o energetyce jądrowej, gdyby ktoś takie napisał, mógłby być rozdział o elektrowniach generacji IV. W roku 2000 zaczęła się historia Międzynarodowego Forum Generacji IV (ang. Generation IV International Forum, w skrócie GIF). Biuro Energii Jądrowej Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych zwołało przedstawicieli rządowych dziesięciu krajów⁸ i tak rozpoczęły się rozmowy na temat rozpoczęcia współpracy w celu budowy elektrowni jądrowych IV generacji na skalę przemysłową. W skrócie, cechy jakimi powinny się charakteryzować elektrow-

nie IV generacji według założeń GIF to: zapewnienie trwałego udziału energetyki jądrowej w miksie energetycznym, opłacalność ekonomiczna nie mniejsza niż dla innych źródeł energii, zapewnienie nieprolifracji, bezpieczeństwa i niezawodności oraz zapewnienie minimalizacji ilości i zarządzania odpadami jądrowymi, zwłaszcza w perspektywie długoterminowej [4]. Na tym Forum, w którym obecnie uczestniczy 13 krajów (dołączyły Szwajcaria, Chiny, Rosja i organizacja Euroatom), powstała popularna dzisiaj klasyfikacja elektrowni jądrowych ze względu na generację.

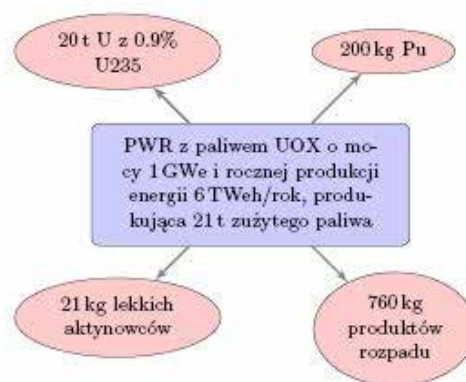
Warto w tym miejscu nadmienić, że historia GIF sięga nie tak daleko, ale historia samych reaktorów generacji IV jest znacznie dłuższa. Podczas prac Forum wytypowano, jako najbardziej obiecujących, sześć różnych technologii: SFR, VHTR, GFR, MSR, SCWR, LFR⁹. Badania nad tymi technologiami były prowadzone znacznie wcześniej niż powstało Forum. Reaktory opierające się na takich samych technologiach, na jakich mają opierać się pracujące w przyszłości na skalę przemysłową reaktory IV generacji były już budowane i pracowały we Francji, Indiach, Japonii, Rosji, USA i w Wielkiej Brytanii. Co jest ciekawe w tym kontekście, w USA, pierwszym reaktorem zbudowanym w celu zademonstrowania możliwości produkowania energii elektrycznej przez reaktory jądrowe był reaktor na neutrony prędkie EBR-1, który w trakcie swojej pracy produkował więcej materiału rozszczepianego niż go zużywał. I tak, pod koniec 1951 r., pierwszą jądrową elektrownią na świecie produkującą energię elektryczną, była elektrownia, której działanie jednocześnie po raz pierwszy potwierdziło w praktyce hipotezę, postawioną przez Enrico Fermiego, o możliwości działania reaktora jądrowego, który będzie produkował materiał rozszczepialny przydatny do produkcji energii, w tempie szybszym niż będzie go sam zużywał [14].

Z punktu widzenia odbiorcy energii elektrycznej, traktując zagadnienia ekonomiczności, bezpieczeństwa i nieprolifracji jako oczywiste i będące celem stanowiącym wspólny mianownik dla wszystkich technologii jądrowych, są dwie główne motywacje, będące nową jakością do prowadzenia badań nad elektrowniami IV generacji i przemawiające za jak najszybszym wprowadzeniem ich na rynek na skalę przemysłową. Jedną z nich jest możliwość prowadzenia gospodarki odpadami promieniotwórczymi, umożliwiającej ich redukcję. Skutkowałoby to w praktyce likwidacją problemu długożyciowych wysokoaktywnych odpadów, które są produktem pracy obecnie funkcjonujących reaktorów jądrowych produkujących prąd elektryczny.

Gospodarka wypalonym paliwem jądrowym

Struktura odpadów promieniotwórczych powstających w wyniku pracy typowej elektrowni jądrowej lekkowodnej o mocy 1000 MWe, pracującej przez rok z paliwem jądrowym w postaci tlenków uranu, przedstawiona jest na rys. 1. Odpady można sklasyfikować ze względu na ich trwałość jako: bardzo krótkożyciowe (ang. very short-lived (VSL)), krótkożyciowe (ang. short-lived (SL)), długożyciowe (ang. long-lived (LL)). Ze względu na wydzielaną przez nie moc promieniowania podział jest następujący [12,13]:

- VLL (ang. very low level) - bardzo niskoaktywne: złom, gruz i inne odpadki głównie powstałe w wyniku demontażu, pozostałości górniczych, odpady po niektórych aktywnościach badawczych i oczyszczaniu skażonych miejsc;



Rys 1. Rocznie 58 francuskich reaktorów produkuje ok. 12 t plutonu, 1,2 t lekkich aktywności i 3,5 t produktów rozpadu [12]. UOX oznacza paliwo jądrowe składające się z tlenków uranu, a Pu to symbol pierwiastka chemicznego pluton

- LL (ang. low level) - niskoaktywne: uszczelki, filtry, rękawice, zalane betonem odpady, wyprodukowane podczas pracy elektrowni jądrowych, oczyszczalni i laboratoriów badawczych;
- IL (ang. intermediate level) - średnioaktywne: uszczelki, rozpuszczalniki, koncentraty, materiały generatorów pary dysze, okładziny z elektrowni jądrowych i oczyszczalni;
- HL (ang. high level) - wysokoaktywne: produkty rozszczepień, aktywności mniejszościowe z wypalonego paliwa;

Objętość wszystkich odpadów wyprodukowanych do tychczas i prognoza sumy złożonych odpadów w latach 2020 i 2030 wyprodukowanych, dla przykładu, przez gospodarkę Francji, w której ok. 80% energii elektrycznej jest produkowanej przez 58 reaktorów jądrowych, znajduje się w tabeli 1 [12]. Czas, jaki jest potrzebny, aby promieniotwórcze odpady osiągnęły moc promieniowania rzędu naturalnie występujących złóż uranu, zależy od sposobu postępowania z wypalonym paliwem. W cyklu paliwowym otwartym, kiedy w składowanym paliwie znajduje się Pu (pluton), lekkie aktywności i produkty rozpadu, potrzeba na ich rozpad ok. 250 000 lat. Oprócz plutonu największym problemem są aktywności. Jeżeli w trakcie przerobu paliwa odzyskamy z niego pluton i zostawimy aktywności i produkty rozpadu, to takie paliwo osiąga aktywność występujących w naturze rud uranu po 10 000 lat. Jeżeli z kolei odzyskamy z paliwa pluton i aktywności to składowane będą tylko produkty rozpadu i wystarczy czas rzędu 300 lat [4].

Społeczność wykazująca się wysokim poziomem odpowiedzialności cywilnej, rozpatruje produkcję promieniotwórczych odpadów jako duży problem. Wprowadzenie do obiegu reaktorów IV generacji ma pozwolić na wyeliminowanie z przemysłu energetyki jądrowej problemu wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych. Odzyskany pluton z wypalonego paliwa może służyć albo jako paliwo jądrowe dla reaktorów IV generacji, albo jako surowiec do paliwa typu MOX¹⁰ dla obecnie pracujących elektrowni typu LWR. Z kolei w reaktorach IV generacji z prędkimi neutronami, nie spowalnionymi po rozszczepieniu jak to jest na przykład w reaktorach moderowanych wodą, możliwa jest transmutacja lekkich

Tabela 1. Skumulowana objętość promieniotwórczych odpadów wyprodukowanych przez przemysł francuski do roku 2007 i prognoza na przyszłe lata podana w m³

	Wytworzone dotychczas odpady (2007)	Prognozowana objętość (2020)	Prognozowana objętość (2030)
HL	2 290	3 680	5 060
IL-LL	41 800	47 000	51 000
LL-LL	82 500	114 600	151 900
LIL-SL	792 700	1 009 700	1 174 200
VLL	231 700	629 200	869 300
Suma	1 151 000	1 804 000	2 251 000

Wyjaśnienie: Odpady wygenerowane przez 3 głównych producentów: EDF, AREVA, CEA dają 99,9% wkładu do radioaktywności wszystkich odpadów. Zakłady te produkują także ok. 80% objętości odpadów nisko i średnioaktywnych. Poza tym na terenie Francji znajduje się ok. 1100 zakładów, z których pochodzą odpady promieniotwórcze: szpitale, uniwersytety i laboratoria, przemysł.

aktywności stanowiących największy problem. Aktywności umieszczone w takim strumieniu wysokoenergetycznych neutronów przechodzą kolejne transmutacje dając ostatecznie jądra, które są stabilne.

Prowadzone są badania nad dwoma sposobami transmutacji, jednorodnym - aktywności, które mają ulec transmutacji są wymieszane z podstawowym paliwem reaktora. I niejednorodnym - aktywności są oddzielone od paliwa i znajdują się w specjalnych komórkach przeznaczonych na aktywności, które mają ulec transmutacji [11]. Zostały także przebadane dwa sposoby zarządzania cyklem paliwowym. Pierwszy to wielokrotny recykling polegający na tym, że wszystkie aktywności na koniec każdego cyklu paliwowego reaktora trafiają ponownie do kolejnego cyklu (rys. 2). W tym przypadku jedynie straty materiału radioaktywnego powstałe podczas procesu odzysku stanowią odpady całego cyklu. Tutaj możliwe są dwa sposoby funkcjonowania przemysłu jądrowego: z funkcjonującymi elektrowniami tylko IV generacji (rys. 2) oraz z koegzystującymi elektrowniami trzeciej i czwartej generacji (rys. 3).

Drugim sposobem jest jednokrotny recykling podczas którego aktywności ulegają transmutacji podczas cyklu, w którym jest osiągany wysoki stopień wypalenia paliwa. Prowadzi się także badania nad metodami recyklingu i transmutacji paliwa w reaktorach LWR, co jak wynika z badań, jest to dużo mniej efektywne. Dobrze jest mieć świadomość, że technologia unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych jest opracowana, i jej skuteczność została zademonstrowana. Obecnie na świecie pracują dwa reaktory typu FBR, które produkują ener-

gię elektryczną: w Chinach o mocy 20 MWe i w Rosji o mocy 600 MWe [2]. W sumie mamy doświadczenie setek reaktorów-pracy reaktorów prędkich, dla których współczynnik konwersji jest większy od jedności. Obecnie prace nad zaawansowanymi technologiami SFR są kontynuowane w ramach badań nad generacją IV reaktorów i pozostaje kwestia wprowadzenia takiej technologii na skalę przemysłową. Cały czas trwa debata polityczna w sprawie reaktorów IV generacji. Głównymi zastrzeżeniami są realna możliwość zapewnienia nieprolifracji oraz ekonomicznej opłacalności [15].

Dotychczasowym i jednocześnie najbliższym realizacji, pomysłem na obchodzenie się z długożyciowymi odpadami promieniotwórczymi jest tworzenie głębokich składowisk geologicznych. Krajami, w których ten proces jest najbardziej zaawansowany są Finlandia, Francja i Szwecja, gdzie czas rozpoczęcia pracy składowisk jest zaplanowany na lata 2020-2025 [2]. Problemem jest wysoki koszt związany z trudnością pogodzenia dwóch cech głębokich składowisk geologicznych, bezpiecznego ulokowania odpadów na setki tysięcy lat, przy jednoczesnym mało kosztownym dostępie do zmagazynowanych odpadów. Obecnie nie ma nisko kosztowego sposobu utylizacji wysokoaktywnych odpadów na skalę przemysłową. Jednak postęp technologiczny jest bardzo szybki, może w najbliższych latach okaże się, że odpady będą przydatne do pewnego rodzaju przemysłu, który je wykorzysta i zutylizuje. W perspektywie są chociażby reaktory IV generacji. Warto nadmienić, że istnieją także projekty innych systemów, na przykład Accelerator Driven Systems (ADS) (tłum. systemy ste-



Rys 2. Schemat funkcjonowania przemysłu jądrowego z uruchomionymi elektrowniami IV generacji bez współistnienia elektrowni II i III generacji. Odpady stanowią jedynie produkty rozpadu, które osiągają poziom promieniowania naturalnych złóż uranu po ok. 300 latach



Rys 3. Schemat funkcjonowania przemysłu jądrowego w przypadku koegzystencji elektrowni III i IV generacji. Odpady stanowią jedynie produkty rozpadu, które osiągają poziom promieniowania naturalnych złóż uranu po ok. 300 latach

rowane akceleratorem), w których istnieje możliwość utylizacji takich odpadów, jednak obecnie nadal są one w fazie testów, a ich pierwsze prototypy są dopiero planowane i ich lista jest krótka, to jest w Europie projekt MYRRHA i w Chinach C-ADS. Kolejnym argumentem za rozwojem reaktorów IV generacji na skalę przemysłową jest zapewnienie trwałego udziału energetyki jądrowej w miksie energetycznym dzięki oszczędzeniu zużycia dostępnych zasobów uranu w przyrodzie.

Zasoby uranu

Zidentyfikowane światowe zasoby uranu to 5 327 200 ton¹¹. Przy obecnym poziomie zużycia uranu zasoby te wystarcząłyby na 100 lat. Do tego suma prawdopodobnych i przewidywanych zasobów uranu to ok. 10 429 100 ton [16]. W oparciu o szacowane prognozy zapotrzebowania na energię jądrową opracowane przez WEC (World Energy Council) i Międzynarodowy Instytut Analiz Systemów Stosowanych, grupa ekspertów pracujących w ramach organizacji GIF opracowała prognozy zużycia światowych zasobów uranu w kilku wariantach systemów pracy elektrowni jądrowych [4].

W przypadku elektrowni pracujących w cyklu paliwowym otwartym (tzn. takim, w którym paliwo jądrowe ulega wypaleniu w reaktorze jednorazowo, po czym trafia do zakładów przerobu zużytego paliwa w celu jego składowania) w latach 2060-2070 przemysł jądrowy sięgnąłby po prawdopodobne/przewidywane zasoby uranu, a w roku 2100 zużycie uranu wzrosło by do 40-50 mln. ton (suma uranu zużytego od początków istnienia energetyki jądrowej). W przypadku uruchomienia na skalę przemysłową elektrowni IV generacji w roku 2050, domniemane zasoby uranu potrzebne byłyby w okolicach 2070 r. i w roku 2100 całkowite zużycie zaczęłoby się stabilizować na poziomie między 20-30 mln. ton.

Wprowadzenie elektrowni jądrowych IV generacji pozwoliłoby na zamknięcie cyklu paliwowego. Według prognoz wprowadzenie do obiegu na skalę przemysłową reaktorów IV generacji w roku 2030 spowodowałoby brak konieczności sięgania po zasoby uranu, które w chwili obecnej są spekulacyjne. Zatem w okolicach 2080 r. całkowite światowe zużycie zasobów uranu zatrzymałoby się między 10-20 mln. ton. Obecnie na świecie funkcjonują dwie strategie gospodarki wypalonym paliwem jądrowym. Pierwsza to cykl otwarty - taki model funkcjonuje na przykład w USA, gdzie głównym argumentem, przemawiającym za tym modelem, jest argument ekonomiczny. Stany Zjednoczone posiadają dostęp do dużych złóż uranu, a przerób zużytego paliwa jądrowego w celu częściowego ponownego wykorzystania jest bardziej kosztowny niż jego składowanie. Drugi model cyklu paliwowego zamkniętego polega na co najmniej jednokrotnym odzyskaniu z wypalonego paliwa niewypalonych atomów U235, U238 i wytworzonego w paliwie w trakcie pracy reaktorów P239, który ponownie służy wytworzeniu paliwa do elektrowni, tak zwanego paliwa MOX. Jaki jest argument za takim modelem gospodarki odpadami z elektrowni jądrowych? Jeden element paliwowy, który zawiera 500 kg uranu przed napromieniowaniem, po wykorzystaniu w reaktorze zawiera ok. 480 kg uranu, ok. 5 kg plutonu, które mogą być odzyskane oraz ok. 15 kg produktów rozpadu, co stanowi ok. 3% całości elementu paliwowego. Trudno oprzeć się stwierdzeniu, że wypalone paliwo jądrowe z reaktora nie jest odpadem. Taki model funkcjonuje we Francji.

Wprowadzenie na skalę przemysłową reaktorów IV generacji jest jedną z dróg, która może pozwolić na zapewnienie trwałego udziału przemysłu jądrowego w miksie energetycznym przez oszczędzenie naturalnych zasobów uranu na Ziemi i wprowadzenie modelu zamkniętego cyklu paliwowego w całym przemyśle jądrowym. Reaktory IV generacji charakteryzują się czynnikiem konwersji¹² $c_f > 1$, co oznacza, że w trakcie swojej pracy produkują więcej materiału rozszczepialnego niż go zużywają. Typowe, obecnie pracujące reaktory lekkowodne, mają współczynniki konwersji rzędu $c_f \sim 0,6 - 0,8$.

Reaktory jądrowe przyszłości

Jeżeli istnieją technologie produkcji energii, które obecnie są na takim etapie rozwoju, że ciężko jest już szukać możliwości wzrostu ich efektywności oraz znaczącego technologicznego usprawnienia a co za tym idzie wzrostu cenowej konkurencyjności wyprodukowanego w oparciu o te technologie prądu elektrycznego, to energetyka jądrowa na pewno do nich nie należy. W obecnie rozpowszechnionej i funkcjonującej technologii istnieje duży margines łatwo osiągalnej poprawy efektywności poprzez postęp technologiczny. W cyklu otwartym reaktory III generacji (przy wypaleniu paliwa rzędu 50 GWd/t)¹³ używają obecnie jedynie ok. 0,5% części naturalnego uranu, który jest wydobywany z rud uranowych i wzbogacany do zawartości U235 w paliwie jądrowym rzędu 4-5%¹⁴. Poprawa efektywności do 1% pozwoliłaby na zaoszczędzenie zasobów uranu i efektywne dwukrotne ich zwiększenie. Ewentualna poprawa wypalenia do 2% daje już czterokrotnie więcej zasobów dla zaspokojenia potrzeb energetyki w stosunku do chwili obecnej. Potencjał tkwi choćby w usprawnieniach technologicznych umożliwiających osiąganie większych poziomów wypalenia paliwa oraz podnoszenie współczynnika konwersji poprzez manipulację charakterystyką widma energetycznego neutronów, czy też geometrią paliwa jądrowego. Zmianę jakościową przynieść może rozwój na skalę przemysłową reaktorów IV generacji szerzej opisanych w tym artykule.

Istnieje także miejsce na całkowicie nowe technologiczne koncepcje oparte na pozyskiwaniu energii z rozszczepienia jąder atomowych. Nie można wykluczyć pojawienia się jeszcze innych, nowych rozwiązań technologicznych. Pozwalając sobie na pewną dozę fantazji, nie tak nieuzasadnioną jak się okaże pod koniec tego rozdziału, napiszę, że może istnieją już jakieś rewolucyjne rozwiązania, które dotychczas czekają w ukryciu po to, żeby nie zostały przed opatentowaniem czy realizacją wykradzione przez konkurencję. Jedną ze znanych (już od lat 50) propozycji reaktora IV generacji, ale opartej na innych rozwiązaniach technologicznych niż realizowane dotychczas, jest Travelling Wave Reactor (tłum. reaktor przemieszczającej się fali) [17]. W takim reaktorze paliwem mogą być na przykład albo naturalne lub zubożone zasoby U238¹⁵ albo wypalone paliwo z reaktorów lekkowodnych. Inaczej niż w działających dotąd reaktorach, reakcje rozszczepienia i konwersji materiału nierozszczepialnego w jądra rozszczepialne zachodzą nie w całym rdzeniu, ale w jego ograniczonym obszarze, który z czasem się przemieszcza. Reaktor taki mógłby pracować bez przerwy i bez wymiany paliwa przez kilkadziesiąt lat. Obecnie ocenia się, że taki reaktor byłby bardzo trudny do praktycznej realizacji i do likwidacji po zakończeniu jego działania [18].

Stanowi jednak przykład, że alternatywne rozwiązania technologiczne są możliwe.

Bardzo ciekawą propozycją nowego rozwiązania jest Dual Fluid Reactor (DFR) opatentowany w 2012 r. przez Instytut Fizyki Jądrowej Ciąła Stałego w Berlinie [19]. DFR jest połączeniem koncepcji reaktora MSR i LFR. Paliwo w reaktorze DFR jest w postaci ciekłych soli, natomiast chłodziwem jest ciekły ołów. Spektrum neutronów jest twardsze niż w znanych dotąd rozwiązaniach z prędkimi neutronami. To pozwala na całkowitą efektywną transmutację aktywności, transuradowców i produktów rozpadu tak, że ostatecznie materiał wypalony wymaga składowania jedynie przez 300 lat. Jako paliwo mogą być użyte wszystkie naturalnie występujące rozszczepialne pierwiastki. Dzięki temu, że reaktor taki charakteryzuje się dużą gęstością mocy i nie wymaga utrzymywania zakładów przerobu i wzbogacania paliwa, koszt produkcji energii elektrycznej stanowiłby 20-30% kosztów produkcji w obecnych elektrowniach węglowych. Bardzo istotne jest to, że reaktor ten jest całkowicie bezpieczny z zasady, ponieważ w żadnych warunkach nominalnych, ani w żadnej sytuacji awaryjnej nie może stać się nadkrytyczny. Kolejną jego cechą jest praca w bardzo wysokich temperaturach, rzędu 1000°C, co daje dodatkowe możliwości wykorzystania ciepła do różnych zastosowań chemicznych, takich jak na przykład produkcja paliw, czy do odsalania wody. Podsumowując, reaktor DFR jest nową koncepcją reaktora, którego realizacja rozwiązałaby wszystkie dotychczasowe problemy energetyki jądrowej, w tym przede wszystkim kwestie bezpieczeństwa i odpadów promieniotwórczych, będąc jednocześnie rozwiązaniem konkurencyjnym ekonomicznie.

Post scriptum

Obszerna gałąź przemysłu jaką jest energetyka jądrowa cały czas się rozwija i ewoluuje, bez przerwy trwają prace nad usprawnieniami obecnie działających na skalę przemysłową technologii. Proponowane nowe technologie zrealizowane już w praktyce w skali badawczej, jak elektrownie IV generacji, czy powstające nowatorskie projekty, takie jak wspomniany wyżej Dual Fluid Reactor dają realną nadzieję na trwały udział energetyki jądrowej w miksie energetycznym w przyszłości i likwidację problemu wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych. Przy czym należy oczywiście pamiętać, że praktyka pokazuje, że od czasu pojawienia się projektu nowej technologii, reaktora jądrowego, na kartce papieru, do wprowadzenia jej na skalę przemysłową potrzeba kilkunastu lat.

Wierzę, że odpowiedzi na pytania ze wstępu tego artykułu jasno rysują się w jego treści i zakończeniu. Warto także znaleźć odpowiedź na kolejne pytanie, które pozostawiam czytelnikowi. Czy warto uczestniczyć w procesie rozwoju przemysłu jądrowego i czerpać z niego korzyści w postaci choćby taniej energii elektrycznej na długie lata?

Autor pragnie serdecznie podziękować Panu Andrzejowi Mikulskiemu, za wnikliwą recenzję, która pozwoliła znacząco podnieść wartość artykułu.

dr Tomasz Denkiewicz
Uniwersytet Szczeciński,
Instytut Fizyki,
Szczecin

Literatura

- [1] www.world-nuclear.org, Nuclear Power in the World Today, 01.02.2014
- [2] IAEA, International Status and Prospects for Nuclear Power, 2012
- [3] <http://www.iaea.org/pris/>, IAEA (PRIS) Power Reactor Information System, 01.2014
- [4] A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems, U.S. DOE Nuclear Energy Research Advisory Committee, GIF, December 2002
- [5] SARNET Lecture Notes on Nuclear Reactor Severe Accident Phenomenology, B.R SeHgal, et al, CEA Cadarache, 2008
- [6] ABWR Design Control Document, Rev. 4, GE Nuclear Energy, 2007
- [7] ESBWR Design Control Document, Ge Nuclear Energy, 2009
- [8] AP1000 European Design Control Document (EPS-GW-GL-700), Westinghouse Electric Company LLC, 2009
- [9] AREVA Design Control Document Rev. 3, 2009
- [10] History of the International Atomic Energy Agency: the first forty years, David Fischer, IA-EA, Vienna, Austria, 1997
- [11] L. Buiron, F. Varaine, D. Lorenzo, H. Palancher, B. Valentin, "Minor Actinides Transmutation in SFR Depleted Uranium Radial Blanket, Neutronic and Thermal Hydraulic Evaluation," Proc. of Global'07 – Advanced Nuclear Fuel Cycles and Systems, Boise, Idaho, September 9-13, 2007, (2007); R. Ferrer, S. Bays, M. Pope, Evaluation of Homogeneous Options: Effects of Minor Actinide Exclusion from Single and Double Tier Recycle in Sodium Fast Reactors, INL/EXT-08-14034 (2008); Samuel Bays i inni, Minor Actinide Recycle in Sodium Cooled Fast Reactors Using Heterogeneous Targets Advances in Nuclear Fuel Management IV, Idaho 2009; L. Buiron, CEA DEN, Cadarache Center France, Nuclear Engineering Training in France in the frame of the "Train the trainers" program / Poland within the period October-December 2010 at CEA/Saclay (91191 Gif-sur-Yvette Cedex)
- [12] <http://www.andra.fr>, Waste quantities, 01.2014
- [13] IAEA Safety Standards, Classification of Radioactive Waste, Classification of Radioactive Waste, IAEA, Vienna 2009
- [14] Nuclear News, volume 44, number 12, American Nuclear Society, 11/2001
- [15] Fast Breeder Reactor Programs: History and Status, A research report of the International Panel on Fissile Materials, February 2010
- [16] Uranium 2011: Resources, Production and Demand, OECD-NEA, IAEA, 2011
- [17] M.J. Driscoll, B. Atefi, D. D. Lanning, "An Evaluation of the Breed/Burn Fast Reactor Concept", MITNE-229 (Dec. 1979); H. Sekimoto, K. Ryu, and Y. Yoshimura, "CANDLE: The New Burnup Strategy", Nuclear Science and Engineering, 139, 1-12 (2001)
- [18] http://en.wikipedia.org/wiki/Traveling_wave_reactor
- [19] Instytut fizyki jądrowej ciała stałego, <http://festkoerper-kernphysik.de>, Berlin, 09.2013

Przypisy:

- ¹ Objaśnienia wybranych skrótów znajdują się w tabeli 2.

² MWe - megawatów mocy elektrycznej.

³ Stan na styczeń 2014 r.

⁴ GWe - gigawatów mocy elektrycznej

⁵ Podana lista nie wyczerpuje wszystkich projektów elektrowni spełniających omawiane kryterium. Obejmuje typy elektrowni, które, do końca 2012 r., w oficjalnych wypowiedziach, przedstawicieli firm je autoryzujących, były wskazywane jako projekty, które potencjalnie mogą być zgłoszone w ofercie dla Polski.

⁶ Dla reaktorów II generacji prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzenia rdzenia jest rzędu 10-5/ rok pracy reaktora. Oznacza to, że statystycznie na świecie przy pracujących 500 reaktorach będzie się zdarzał jeden incydent uszkodzenia rdzenia na 200 lat.

⁷ 1Ci jest jednostką aktywności promieniotwórczej odpowiadającą aktywności jednego grama radu 226, 1Ci = 3,7×10¹⁰ rozpadów/s.

⁸ Argentyna, Brazylia, Francja, Japonia, Kanada, Południowa Afryka, Południowa Korea, Stany Zjednoczone, Wielka Brytania.

⁹ Zob. Tabela 2.
- ¹⁰ MOX - (ang. mixed oxide) oznacza paliwo, które jest mieszaniną tlenków uranu i plutonu.

¹¹ Stan na 1 stycznia 2011 r. Szacuje się, że zidentyfikowane zasoby uranu mogą jeszcze wzrosnąć, choćby z tego powodu, że zliczane są tylko zasoby, które zostały zgłoszone przez kraje. Nie wszystkie kraje od razu zgłaszają wykryte zasoby. Od 2009 do 2011 r. zidentyfikowane zasoby uranu wzrosły o 12%.

¹² cr - stosunek wytworzonego w trakcie pracy reaktora nowego materiału rozszczepialnego w zużytym paliwie do materiału rozszczepialnego wypalonego w świeżym paliwie.

¹³ Wypalenie paliwa podane jako całkowita ilość energii uwolnionej z paliwa w ciągu dnia na jednostkę masy 1 t, mierzona po całkowitym czasie pracy reaktora na danym paliwie.

¹⁴ Naturalne złoża uranu zawierają 0,71% izotopu U235 resztę stanowi izotop U238. W paliwie jądrowym reaktorów komercyjnych LWR zawartość U235 wynosi ok. 3-5%. Proces zwiększania procentowej zawartości U235 nazywany jest wzbogacaniem paliwa jądrowego.

¹⁵ W trakcie wzbogacania uranu w izotop U235, pozostaje ruda uranowa o mniejszej, niż naturalna, zawartości izotopu U235. Takie zasoby uranu nazywamy zubożonymi.

Tabela 2. Tabela z objaśnieniami wybranych skrótów użytych w tekście artykułu.

Nazwa	Krótką Charakterystyka
LWR	ang. light water reactor; reaktor lekkowodny
PWR	ang. pressurized water reactor; reaktor wodny ciśnieniowy
BWR	ang. boiling water reactor; reaktor wodny wrzący
ESBWR	ang. economic simplified boiling water reactor; ekonomiczny uproszczony reaktor wrzący
ABWR	ang. advanced boiling water reactor; zaawansowany reaktor wrzący
AP-1000	ang. advanced pressurized - 1000; zaawansowany reaktor ciśnieniowy
EPR	ang. european or economic pressurized reactor; europejski albo ekonomiczny reaktor ciśnieniowy
WWER	ros. wodo-wodianoj energieticeskij rieaktor; wodno-wodny reaktor energetyczny
FBR	ang. fast breeder reactor; reaktor na neutrony prężkie
SCWR	ang. supercritical water reactor; reaktor chłodzony wodą o parametrach nadkrytycznych
SFR	ang. sodium-cooled fast reactor; reaktor prędkie chłodzony sodem
GFR	ang. gas-cooled fast reaktor; reaktor prędkie chłodzony gazem
MSR	ang. molten salt reactor; reaktor chłodzony stopionymi solami
LFR	ang. lead-cooled fast reactor; reaktor prędkie chłodzony ołowiem
VHTR	ang. very high temperature reactor; reaktor wysokotemperaturowy

TECHNOLOGIA RADIACYJNA W OCHRONIE ROŚLIN

Urszula Gryczka, Wojciech Migdał,
Magdalena Ptaszek, Leszek B. Orlikowski

Choroby roślin

Zainteresowanie chorobami roślin sięga czasów starożytnych, a dowody na to znajdujemy w tekstach staroegipskich oraz w Biblii. Z tekstu greckiego z przełomu IV i III wieku p.n.e. wynika, że w tych czasach znane były już rdze zbóż i roślin strączkowych, a prowadzone obserwacje chorób pozwoliły na sformułowanie wniosku, że rośliny częściej chorują, gdy uprawia się je w dolinach, czyli miejscach mniej przewiewnych, gdzie wilgotność względna powietrza jest wyższa niż na zboczach wzgórz. W starożytnym Rzymie stosowano już nawet proste zabiegi ochrony roślin, polegające na moczeniu nasion w winie przed ich wysiewem. Rośliny wyrosłe z tak traktowanych nasion chorowały rzadziej niż te uzyskane z nasion niezaprawianych. Już przed kilkuset laty wiadano, że pszenicy nie należy uprawiać obok lasu, gdzie rosły berbersy, a do siewu nie należy używać wilgotnego, źle przechowywanego ziarna. W 1755 r. francuski uczony Tillet opisał śnieć cuchnącą pszenicy, jako chorobę wywoływaną przez grzyby, a ściślej, przez substancje toksyczne przez niego wytwarzane. Momentem przełomowym w historii fitopatologii były odkrycia Prevosta, który w 1807 r. opisał kiełkowanie zarodników grzyba powodującego śnieć cuchnącą pszenicy, zakażenie kielków i rozwój choroby. Wykazał też hamujący wpływ siarczanu miedzi na ich rozwój. Intensywny rozwój nauk związanych z chorobami roślin sięga XIX wieku, kiedy to rozpoczęto szerokie badania w trakcie epidemii zarazy ziemniaka w Irlandii (1845-1846), która w tym kraju wyniszczyła jego uprawy i spowodowała śmierć głodową ok. mln. ludzi oraz masową emigrację Irlandczyków za ocean. W celu zminimalizowania występowania chorób, już w latach dwudziestych XX wieku, do ochrony agrestu przed mączniakiem stosowano spryskiwanie roślin roztworem gnojowicy. W 1934 r. Tisdale i Williams patentują pierwsze karbaminiany jako syntetyczne, organiczne fungicydy, a w roku 1966 Von Schmelting i Kulka wprowadzają na rynek karboksyne, jako pierwszy systemiczny środek grzybobójczy. Dwa lata później do powszechnego użycia wchodzi benomyl, pierwszy systemiczny fungicyd z grupy benzimidazoli [1].

Wejście Polski do Unii Europejskiej spowodowało otwarcie granic również na import materiału roślinnego. Do kraju sprowadzano siewki, sadzonki i cebule, produkowane nie tylko w krajach unijnych, ale także przez wyspecjalizowane firmy w Afryce, Ameryce Południowej i Azji. Zdaniem Brasiera, wybitnego angielskiego fitopatologa, w ciągu minionego dwudziestolecia międzynarodowy obrót materiałem roślinnym wzrósł ok. 4-krotnie. Import nowych gatunków i odmian

roślin, obok pozytywnych, wiąże się również z negatywnymi skutkami, w tym zawlekaniem do kraju nowych patogenów, które mogą stanowić istotne zagrożenie dla polskiego ogrodnictwa. Orlikowski [2] podaje, że w minionych latach zawleczono do Polski co najmniej 10 nowych dla naszych warunków gatunków *Phytophthora*, *Cylindrocladium scoparium*, nowe formy specjalne *Fusarium oxysporum* i nowe patotypy *Rhizoctonia solani*. Z materiału roślinnego czynniki te dostają się do gleby oraz podłoża ogrodniczych, gdzie mogą przeżywać nawet przez kilkanaście lat w formie chlamydospor, oospor czy nibysklerocjów. Istnieje więc konieczność odkażania zakażonych gleb i podłoży, aby wymienione patogeny nie powodowały strat w uprawach, dochodzących niekiedy do kilkudziesięciu procent, i nie przedostawały się do cieków i zbiorników wodnych.

Podłoża lub ich komponenty łatwo ulegają skażeniu przez chorobotwórcze organizmy, które po sadzeniu do nich roślin, infekują korzenie i podstawę pędów. Aby zapobiec rozpowszechnianiu się chorobotwórczych mikroorganizmów, każde podłoże należy przed użyciem odkażać, i jest to najważniejszy zabieg profilaktyczny przy produkcji roślin. Do dezynfekcji podłoży stosowane są metody chemiczne w tym m.in. dazomet, metam sodowy, nadtlenuk wodoru stabilizowany srebrem, tlenek etylenu, kwas benzoesowy oraz metody fizyczne. W ostatnich latach drastycznie zmieniła się sytuacja na rynku środków ochrony roślin. Dyrektywa 91/414 Unii Europejskiej oraz wprowadzana Strategia Tematyczna „Zrównoważone Stosowanie Pesticydów” spowodowały, że z rynków krajów UE wycofano ok. 60% substancji aktywnych środków ochrony roślin i jest prawdopodobne, że następne z nich będą dalej eliminowane. Sytuacja ta może mieć drastyczny wpływ na polskie rolnictwo. Brak skutecznych środków ochrony może doprowadzić do kilkudziesięciu procentowego spadku plonu i obniżenia jakości produktów rolniczych.

Do odkażania gleby i podłoży ogrodniczych potrzebne są środki lub metody dające możliwość szybkiego wyeliminowania lub zminimalizowania liczebności określonych patogenów oraz niewpływające negatywnie na wzrost i rozwój uprawianych roślin. Takie możliwości stwarza metoda radiacyjna.

Podłoża ogrodnicze

Podłoża stosowane w uprawie roślin możemy podzielić na:

- mineralne (wełna mineralna, wełna szklana, keramzyt, perlit, lawa wulkaniczna, żwir, piasek, wermikulit, zeolit),
- syntetyczne (pianka poliuretanowa, polifenolowa i aminowa) oraz
- organiczne (torf, włókno kokosowe, kora, słoma, węgiel brunatny, trociny, włókno drzewne, łuska kakaowa, łuska kawowa, plewy ryżowe).

Najczęściej stosowanym w ogrodnictwie podłożem jest **substrat torfowy**, stanowiący ok. 80% wszystkich substratów. Powstaje on w wyniku rozkładu obumarłych szczątków roślin. Substraty torfowe są jednak podłożami trudnymi do odkażania z uwagi na dużą zawartość materii organicznej. Stosowane dotychczas do odkażania środki zawierające dazomet eliminowały z nich czynniki chorobotwórcze w ok. 70%. Dazomet, stosowany do odkażania substratu torfowego, utrzymuje się w nim nawet do 12 tygodni, a istotny wpływ na jego aktywność biologiczną wywiera temperatura i wilgotność. Innym stosowanym substratem organicznym jest **kora sosnowa**, wykorzystywana do ściółkowania, a w formie przekompostowanej, także jako dodatek do substratu torfowego lub innych podłoży. Przykładem podłoża mineralnego jest **perlit** - produkowany z glinokrzemianów wulkanicznych, które po zmieleniu i traktowaniu temperaturą powyżej 1000°C, dają produkt o strukturze trwałej, mineralnej gąbki. Perlit jest czysty biologicznie i nieaktywny chemicznie, zapewnia roślinie optymalne warunki powietrzno-wodne dla rozwoju systemu korzeniowego. Używany jest głównie do ukorzeniania sadzonek roślin zielnych. Jest ceniony, gdyż łatwo magazynuje i oddaje wodę, dzięki czemu ziemia z domieszką perlitu wolniej przysycha, a rośliny mają lepszy dostęp do wilgoci. **Wełna mineralna** jest jednym z najczęściej używanych podłoży do uprawy warzyw pod osłonami, zwłaszcza pomidorów i ogórków. Przy produkcji wełny mineralnej czysta skała bazaltowa jest podgrzewana do bardzo wysokiej temperatury (rzędu 1500°C). Płynna masa bazaltowa jest poddawana odwirowaniu. Podczas oziębiania powstają włókna, które są formowane do kształtu podłużnych mat lub kostek. Materiał ten jest neutralny, zapewnia dobrą przewodność oraz charakteryzuje się dużą pojemnością wodną. Jest jednak materiałem szkodliwym dla zdrowia, zwłaszcza w stanie suchym. Wełna mineralna stanowi zagrożenie dla środowiska, gdyż wietrzeje bardzo powoli i nie poddaje się kompostowaniu, w wyniku czego powstają duże ilości odpadów, które należy poddać utylizacji.

Oddziaływanie promieniowania jonizującego z mikroorganizmami

Metodą powszechnie wykorzystywaną do sterylizacji i higienizacji produktów spożywczych, medycznych i rolniczych jest metoda radiacyjna. Inaktywacja drobnoustrojów w wyniku oddziaływania promieniowania jonizującego następuje w sposób bezpośredniego uszkodzenia kwasu deoksyrybonukleinowego (DNA), kwasu rybonukleinowego (RNA) lub

białek, a także w sposób pośredni w wyniku oddziaływania wolnych rodników. Uszkodzony pod wpływem promieniowania jonizującego DNA powoduje zahamowanie podziału komórki i prowadzi do jej obumarcia [3]. W ten sposób promieniowanie eliminuje skutecznie bakterie chorobotwórcze, niszczy zarodniki grzybów, organizmów glonopodobnych oraz eliminuje szkodniki.

Czynniki chorobotwórcze w podłożach

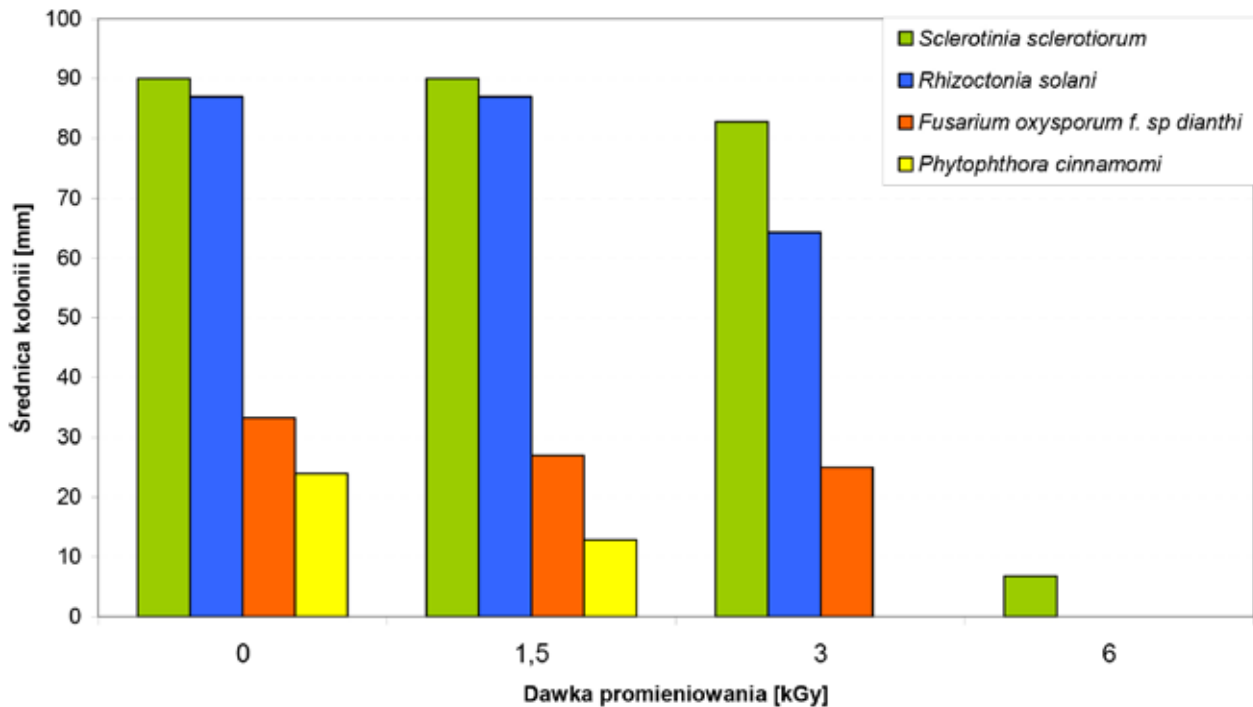
Najgroźniejszymi patogenami roślin powodującymi ich choroby, są grzyby z rodzajów *Fusarium*, *Rhizoctonia*, organizmy glonopodobne z rodzajów *Pythium* i *Phytophthora*, oraz bakterie z rodzajów *Erwibia*, *Pseudomonas* i *Xanthomonas* (fot.1.).

Fusarium oxysporum f. sp. *dianthi* jest patogenem goździków, powodującym straty dochodzące do 50%. Jest to jednocześnie gatunek reprezentacyjny dla ok. siedemdziesięciu form specjalnych tego gatunku, występujących na różnych roślinach-gospodarzach. Patogen ten jest bardzo trudny do wyeliminowania z powodu szybkiego uodparniania się tego gatunku na stosowane środki ochrony roślin, a jego formy przetrwalnikowe – chlamydospery, mogą przetrwać w glebie nawet kilkanaście lat.

Phytophthora cinnamomi to polifag znany jako patogen co najmniej trzech tysięcy gatunków roślin. W Polsce jest jednym z najczęściej występujących patogenów roślin w szkółkach oraz środowisku naturalnym. Źródłem jego bytowania jest materiał roślinny, woda, podłoże lub gleba.



Fot.1. Zgnilizna podstawy pędu pomidora powodowana przez *Phytophthora* sp.



Rys.1. Wrażliwość wybranych patogenów roślin na promieniowanie jonizujące w testach *in vitro* [4,5,6,9]

Rhizoctonia solani to polifag występujący na co najmniej kilkuset gatunkach roślin, w tym w szklarniach, szkółkach oraz uprawach polowych. Grzyb tworzy bardzo liczne, zbite strzępki grzybni, bardzo trudne do wyeliminowania przy stosowaniu fumigantów. Gatunek ten powoduje zgniliznę podstawy pędu i korzeni, co prowadzi często do masowego zamierania roślin. Brak skutecznych środków do ochrony upraw przed tym patogenem powoduje, że występuje on często masowo w niektórych uprawach, w tym pod osłonami.

Sclerotinia sclerotiorum jest również gatunkiem polifagicznym, występującym na uprawach polowych i pod osłonami, powodującym zgniliznę twardzikową. Stwierdzono go m.in. na chryzantemach, gerberach i roślinach jednorocznych. Z uwagi na możliwość przetrwania patogenu w formie sklerocjów w podłożu, istnieje potrzeba stosowania metod minimalizujących jego występowanie.

Przedstawione przykładowe patogeny roślin charakteryzują się zróżnicowaną wrażliwością na promieniowanie jonizujące. Z przeprowadzonych testów szalkowych, w których pożywkę porośniętą strzępkami mikroorganizmów napromieniowano dawką do 6 kGy, uzyskano dane na temat wrażliwości poszczególnych mikroorganizmów na promieniowanie jonizujące. Miara skuteczności procesu było zahamowanie rozwoju mikroorganizmów lub ich eliminacja (rys.1.).

Wpływ napromieniowania podłoża na wzrost roślin

Efektywność procesu odkażania podłoża zależy zarówno od gatunku patogenu, jak i rodzaju podłoża. W przeprowadzonych doświadczeniach użyto torf, korę sosnową, perlit oraz ich mieszaniny. Stwierdzono, że napromieniowanie podłoża zakażonych przez *F. oxysporum f. sp. dianthi*, *P. cinnamomi* i *R. solani* dawką 5 kGy miało destrukcyjny wpływ

na struktury patogenów. Minimalizację występowania lub wyeliminowanie patogenów uzyskano przy zastosowaniu dawki 10 kGy. Analiza współzależności pomiędzy rodzajem podłoża, dawką napromieniowania, a zdrowotnością uprawianych roślin, wskazuje, że kompostowana kora sosnowa i jej mieszanina z substratem torfowym są podłożami najtrudniejszymi do odkażenia, ale dawka 15 kGy minimalizuje populację patogenów.

Zastosowanie radiacyjnej metody odkażania podłoży ogrodniczych wymagało określenia jej wpływu na zdrowotność roślin. Doświadczenia szklarniowe z wykorzystaniem sadzonek goździka, cyprysika oraz chryzantem wykazały, że metoda radiacyjna nie wywarła negatywnego wpływu na rozwój roślin (fot.2,3,4).



Fot.2. Wzrost sadzonek chryzantem w podłożach zakażonych przez *Rhizoctonia solani* oraz odkażonych metoda radiacyjną



Fot.3. Cypresiki z objawami fytoftorozu rosnące w podłożu zakażonym przez *Phytophthora cinnamomi*



fot. prof. Leszek Orlikowski

Fot.4. Wzrost sadzonek goździka w podłożach zakażonych przez *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* oraz odkażonych metoda radiacyjną

Podsumowanie

Stosowane w kraju podłoża ogrodnicze łatwo ulegają skażeniu przez chorobotwórcze grzyby i bakterie, które powodują zgniliznę korzeni i podstawy pędu. Aby zapobiec rozprzestrzenianiu się chorób, każde podłoże używane w produkcji roślin należy odkażać przed jego ponownym użyciem. Prace doświadczalne nad możliwością wykorzystania promieniowania jonizującego do odkażania zainfekowanych podłoży ogrodniczych prowadzone były we współpracy Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie oraz Instytutu Ogrodnictwa w Skierniewicach, w ramach projektu rozwojowego NR 1205506/2009, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju. Uzyskane wyniki posłużyły do przygotowania zgłoszenia patentowego [8].

Metoda radiacyjna, wykorzystująca jako źródło promieniowania jonizującego wiązkę elektronów generowaną w akceleratorze, okazała się bardzo skuteczna w minimalizacji występowania lub eliminowaniu patogenów.

prof. dr hab. Wojciech Migdał,
mgr inż. Urszula Gryczka,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

prof. dr hab. Leszek B. Orlikowski,
mgr Magdalena Ptaszek,
Instytut Ogrodnictwa,
Skierniewice

Literatura

- ¹ Z. Borecki. Nauka o chorobach roślin. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne. 2001
- ² L.B. Orlikowski. Relationship between source of water used for plant sprinkling and occurrence of Phytophthora shoot rot and tip blight in container-ornamental plants. J. Plant Prot. Res. (2006) 46: 163-168
- ³ M. Wróblewska. Wrażliwość drobnoustrojów na promieniowanie. Sterylizacja radiacyjna przeszczepów tkankowych. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej. 2009
- ⁴ M. Ptaszek, U. Gryczka, W. Migdał, L.B. Orlikowski. Wykorzystanie metody radiacyjnej do eliminowania *Sclerotinia sclerotiorum* w podłożach. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. (2010) 554
- ⁵ U. Gryczka, M. Ptaszek, W. Migdał, L.B. Orlikowski. Application on electron beam irradiation for inhibition of *Fusarium oxysporum* f. sp. *dianthi* activity. Nukleonika (2010), 55 (3): 359-362
- ⁶ W. Migdał, L. B. Orlikowski, M. Ptaszek, U. Gryczka. Influence of electron beam irradiation on growth of *Phytophthora cinnamomi* and its control in substrates. Rad. Phys. Chem. 81 (2012) 1012-1016
- ⁷ L. B. Orlikowski, U. Gryczka, M. Ptaszek, W. Migdał. Effectiveness of electron beam irradiation in the control of *Rhizoctonia solani*. Nukleonika 57 (2012) 551-554
- ⁸ Zgłoszenie patentowe "Sposób dezynfekcji podłoży ogrodniczych z wykorzystaniem wiązki wysokoenergetycznych elektronów" nr 396880

POSTĘP W TECHNIKACH RADIACYJNYCH

Wojciech Głuszewski

ARTYKUŁY

Pod koniec 2013 r. w Shanghaju odbyła się międzynarodowa konferencja IMRP 2013 (International Meeting of Radiation Processing). Organizowane co dwa lata spotkania są okazją do podsumowania osiągnięć w zakresie zastosowań technik radiacyjnych w różnych dziedzinach gospodarki, medycyny, rolnictwa, ochrony środowiska, kosmonautyki i nauki. Na towarzyszącej konferencji wystawie zaprezentowały się również instytucje projektujące i budujące przemysłowe oraz laboratoryjne instalacje wykorzystujące promieniowanie gamma, wiązki elektronów i promieniowania rentgenowskie. Na obrzeżach technik radiacyjnych rozwinęły się takie dziedziny jak: produkcja urządzeń dozymetrii radiacyjnej, kontroli procesów napromieniowania, ochrony radiologicznej, transport materiałów radioaktywnych oraz usługi w zakresie np. sieciowania kabli i przewodów elektrycznych, produkcji opon samochodowych, granicznych kontroli kontenerów, wykrywania materiałów wybuchowych, sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych, farmaceutycznych, kosmetycznych, ziół, przypraw ziołowych i żywności, modyfikacji struktur elektronicznych, higienizacji odpadów komunalnych, oczyszczania gazów spalinowych, konserwacji i identyfikacji obiektów o znaczeniu historycznym, analityki chemicznej, identyfikacji napromieniowania żywności, itd. Uwagę zwracał zwłaszcza postęp w radiacyjnej modyfikacji tworzyw sztucznych. Chemia radiacyjna polimerów była silnie reprezentowana, mimo, że co dwa lata odbywają się konferencje poświęcone wyłącznie tej tematyce. Najbliższe sympozjum I RaP (Ionising Radiation and Polymers) odbędzie się w tym roku w Korei Południowej.

W naukowym komunikacie prezentowanym na konferencji przypomniano, o czym jak się wydaje zapomnieli organizatorzy, że techniki radiacyjne wzięły początek z prac Marii Skłodowskiej-Curie [1]. Pierwsze krzywe radiacyjnej inaktywacji autorka uzyskała stosując promieniowanie X. Paradoksem jest, że dopiero w ostatnich latach w Szwajcarii rozpoczęła działalność pierwsza przemysłowa instalacja wykorzystująca do sterylizacji wyłącznie wysokoenergetyczne promieniowanie rentgenowskie. Powód był dość prozaiczny. Ze względu na stosunkowo niską wydajność konwersji wiązki elektronów na promieniowanie rentgenowskie jest ono wyjątkowo kosztowne. Postęp w dziedzinie konstrukcji akceleratorów, a w szczególności upowszechnienie się dużej mocy urządzeń typu Rhodotron sprawiło, że stało się konkurencyjne. Można więc powiedzieć, że praca Skłodowskiej-Curie z 1929 r. w kontekście najnowszych rozwiązań technologii radiacyjnych ma nawet dzisiaj znamiona nowości. Jest to oczywiście czysty zbieg okoliczności. W latach 20 ubiegłego wieku nikt nawet nie myślał o radiacyjnej sterylizacji.

W krajach rozwiniętych obróbka radiacyjna osiągnęła obecnie skalę przemysłową z obrotami na poziomie miliardów dolarów rocznie. Znaczący udział w tym wyniku ma wspomniana już sterylizacja radiacyjna. Wysokoenergetyczne elektrony akceleratorowe przyspieszone do typowej energii 10 MeV i promieniowanie gamma ze źródeł ^{60}Co wykazują silne właściwości bakteriobójcze. Działanie wiązek elektronowych i fotonów gamma na jednokomórkowe drobnoustroje, takie jak bakterie, riketsje, grzyby i pierwotniaki oraz na wirusy ma bardzo skomplikowany charakter. Temu zagadnieniu poświęcono ogromną ilość specjalistycznych publikacji. Opracowano wiele modeli szczegółowego mechanizmu uszkodzeń radiacyjnych w mikrobiologii. Zwięźle można powiedzieć, że najbardziej promienioczułym, elementem drobnoustrojów jest ich materiał genetyczny: DNA (deoksyrybonukleinowy) i RNA (rybonukleinowy) (ten ostatni w wirusach). Istotną zaletą metody radiacyjnej sterylizacji jest nieznaczny efekt termiczny. Co więcej stosowane wysoko energetyczne elektrony (lub fotony) penetrują nie tylko poprzez foliowe opakowania jednostkowe, ale również poprzez zbiorcze opakowania kartonowe. Z tego powodu nie trzeba sterylizowanego sprzętu w ogóle przepakowywać ani też „sezonować” jak to ma miejsce w gazowych, chemicznych metodach wyjaławiania. Mimo, że radiacyjnie sterylizuje się sprzęt medyczny jednorazowego użytku od kilkudziesięciu lat, to w naszym kraju jest to metoda nadal stosunkowo mało znana. Niezależnie od sterylizacji sprzętu medycznego banki tkanek zlecają wyjaławianie biomateriałów - najczęściej przeszczepów kostnych. Istotnym zagadnieniem staje



fol. z archiwum Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej

Fot.1. Instalacja do radiacyjnego sieciowania kabli i przewodów elektrycznych

się również opracowanie nowoczesnych procedur dozymetrycznych. Pierwsza komercyjna instalacja promieniowania gamma powstała na początku 1960 r. W ciągu następnych 40 lat zainstalowano łącznie 800 MCi ^{60}Co . Obecnie eksploatowane są na świecie urządzenia radiacyjne o mocy 300 MCi ^{60}Co . Sterylizuje się 12 mln. m^3 wyrobów medycznych jednorazowego użytku. W samych Stanach Zjednoczonych działa 50 stacji sterylizacji radiacyjnej promieniowania gamma o mocy 145 MCi ^{60}Co .

Problematyce sterylizacji radiacyjnej poświęcono pierwszy dzień konferencji sponsorowany między innymi przez firmę Johnson@Johnson. Wykładowcami byli najlepsi na świecie specjaliści z zakresu technologii radiacyjnych. Chętni mogli odwiedzić również jedną z chińskich stacji sterylizacji radiacyjnej. Zakład ten wykorzystuje zarówno promieniowanie gamma, jak i wiązkę elektronów. Warto podkreślić, że Chiny są samowystarczalne w zakresie technologii radiacyjnych. Produkują zarówno akceleratory elektronów, jak i kobalt 60. Sterylizacja radiacyjna, do której wykorzystuje się 130 źródeł gamma (na ogólną liczbę 156 o łącznej mocy 56 MCi) i 200 akceleratorów elektronów ma w Chinach charakter rutynowy. W nie najnowszych już (20-letnich) halach produkcyjnych zwracają uwagę nowe akceleratory, komputery i systemy monitoringu oraz duże moce uzupełnianych na bieżąco źródeł promieniowania gamma ^{60}Co , produkowanego w budowanych z rozmachem w Chinach reaktorach jądrowych. Wiele akceleratorów pokazywanych przez szanghajskich producentów już, jako eksponaty muzealne z pewnością znalazłoby jeszcze użytkowników w innych krajach. Chińczycy oferują również gotowe instalacje do np. radiacyjnej modyfikacji kabli i przewodów elektrycznych. Można kupić technologię wraz z gotowym zestawem składającym się z akceleratora i systemu przewijania. Przykładowo firma Jiangsu Dasheng Electron Accelerator Co., Ltd. lider w produkcji akceleratorów w Chinach od 2007 r, zabudowała 65 instalacji akceleratorowych o energiach wiązki od 1 do 10 MeV. Centrum przemysłowe firmy wykorzystuje obecnie 15 akceleratorów w tym chiński Rhodotron.

Rok 2013 był jak wiadomo rokiem Jana Czochralskiego, twórcy metody otrzymywania monokrystalicznego krzemu. Pomysł polskiego uczono dał początek współczesnej elektronice. Warto przypomnieć, że od wielu lat prowadzi się prace nad radiacyjną modyfikacją parametrów dynamicznych elementów i przyrządów półprzewodnikowych. Przykładem są szybkie przyrządy półprzewodnikowe dużej mocy: tyrystory o krótkich czasach wyłączenia t_q i diody o krótkich czasach odzyskiwania własności zwrotnych t_r . Jak wiadomo, z fizycznych podstaw działania, czas t_q tyrystora (lub czas t_r diody) jest wprost proporcjonalny do czasu życia nośników mniejszościowych w bazie. Zatem wszystkie metody prowadzące do skrócenia czasu życia nośników mniejszościowych mogą być przydatne do otrzymywania szybkich tyrystorów i diod. Fizycznym warunkiem skrócenia czasu jest wytworzenie w sieci krystalicznej krzemu odpowiednich centrów rekombinacyjnych. Od dawna wiadomo, że napromienianie półprzewodników wysokoenergetycznymi cząstkami elementarnymi lub fotonami, powoduje powstawanie pierwotnych i wtórnych defektów sieci krystalicznej, tworzących efektywne centra rekombinacyjne nośników mniejszościowych. W praktyce okazało się, że najwygodniej jest stosować akceleratory elektronów, gdzie równoważny czas ekspozycji wsadu wynosi, zaledwie kilka minut. Stwierdzono, że napro-

mieniowanie wiązką elektronów daje identyczne efekty jak napromienianie gamma, ale z o wiele większą wydajnością.

Na konferencji, a zwłaszcza w sesji plakatowej, wiele miejsca poświęcono radiacyjnemu utrwalaniu plodów rolnych i identyfikacji napromienowania żywności. Co może się wydawać paradoksalne w interesie producentów obrabianej radiacyjnie żywności jest stworzenie wiarygodnych sposobów identyfikacji żywności poddanej działaniu promieniowania jonizującego. Konsumenci, którzy z jakiś powodów nie chcą kupować żywności radiacyjnie higienizowanej są spokojni dysponując metodą jej kontroli. Warto dodać, że Chiny są krajem, w którym można na rynku spotkać wiele wyrobów utrwalanych radiacyjnie. Są one specjalnie oznaczane i nie wzbudza to żadnych sensacji.

Polskę na konferencji reprezentowała stosunkowo liczna grupa chemików i technologów z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Prof. dr hab. inż. Andrzej G. Chmielewski, jako pierwszy Polak, został laureatem „Lifetime Award for Science” nagrody przyznawanej naukowcowi, który posiada wyjątkowe osiągnięcia w dziedzinie technologii radiacyjnych. Nagroda ta została wręczona na zakończenie konferencji. Drugim nagrodzonym był Paul Minbiole (President & CEO at E-BEAM Services, Inc. USA), który otrzymał „Lifetime Award for Business”. Od czasu ustanowienia tej nagrody w roku 1978 laureatami zostało, łącznie z ostatnimi, 35 naukowców i biznesmenów. Nagrody przyznaje istniejąca od 45 lat International Irradiation Association (iiaglobal.com), organizacja zrzeszająca głównych producentów przemysłowych źródeł promieniowania gamma i akceleratorów elektronów oraz ich użytkowników. Prof. A. Chmielewski wraz z zespołem naukowców i inżynierów zbudował w Elektrociepłowni Kawęczyn akceleratorową instalację pilotową do oczyszczania gazów spalinowych oraz przemysłową, największą w świecie, w Elektrociepłowni Pomorzany. Posiada kilkanaście patentów na tę technologię w Polsce i za granicą (USA, Japonia, Chiny, Arabia Saudyjska itd.) oraz wiele publikacji dotyczących zagadnienia zamieszczonych w najlepszych czasopiśmie zagranicznych. W ubiegłym roku zespół pod kierownictwem prof. Chmielewskiego zbudował i przetestował, na zlecenie firmy ARAMCO, akceleratorową instalację pilotową do oczyszczania gazów spalinowych z kotła opalanego ropą, w należącej do tej firmy rafinerii w Jeddah, Arabia Saudyjska. Profesor jako ekspert U.S. Department of Energy (DOE) brał udział w przygotowaniu raportu „Accelerators for America's Future” (<http://www.acceleratorsamerica.org/report/index.html>).

Warto wspomnieć, że poster poświęcony radiacyjnemu procesom sieciowania elastomerów, którego byłem współautorem znalazł się w gronie sześciu najlepszych komunikatów.

dr inż. Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura

- [1] Wojciech Głuszewski, Zbigniew P. Zagórski, Quoc Khoi Tran, Laurent Cortella, Maria Skłodowska Curie - the precursor of radiation sterilization methods, Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2011, 400, 1577 - 1582

SŁOWACKIE ELEKTROWNIE JĄDROWE

Juraj Klepáč

Wszystkie słowackie elektrownie jądrowe (Bohunice i Mochovce) wyposażone są w wodne reaktory ciśnieniowe typu WWER. Charakteryzują się one: stosunkowo niską mocą i gęstością mocy, dużą ilością wody wykorzystywanej do odbioru ciepła podczas normalnej pracy i w trybie chłodzenia awaryjnego, solidną konstrukcją obudowy bezpieczeństwa z betonu zbrojonego o grubości ścian do 1,5 m, systemem bezpieczeństwa o potrójnej redundancji (3 x 100%) i wysokim poziomem bezpieczeństwa pasywnego.

Zasada wytwarzania energii elektrycznej w elektrowniach jądrowych jest podobna jak w konwencjonalnych elektrowniach ciepłych. Jedyna różnica polega na źródle ciepła. W elektrowniach konwencjonalnych ciepło jest wytwarzane z paliw kopalnych (węgiel, gaz) powodujących powstawanie ogromnej ilości gazów cieplarnianych, podczas gdy w elektrowniach jądrowych paliwem jest zwykle uran wzbogacony w izotop U-235. W reaktorach wodnych ciśnieniowych, paliwo w postaci elementów paliwowych jest umieszczone w zbiorniku ciśnieniowym i chłodzone wodą, która przepływając wzdłuż elementów paliwowych odbiera ciepło wytwarzane podczas reakcji rozszczepienia. Woda wypływająca ze zbiornika reaktora ma temperaturę ok. 297°C (reaktor typu WWER). Przepływając przez rurki wytwornicy pary wytwarza parę w obiegu wtórnym (temperatura 222°C), a sama powraca do zbiornika reaktora. Powstająca para poprzez kolektor parowy kierowana jest na łopatki turbiny i dalej skraplana w wieży chłodniczej. Turbina połączona jest z generatorem wytwarzającym energię elektryczną.

Elektrownia Bohunice V2

Elektrownia jądrowa znajduje się w zachodniej Słowacji, w pobliżu miasta Trnava. Energia elektryczna jest wytwarzana w dwóch blokach z reaktorami WWER-440/V-213, które zostały zbudowane odpowiednio w latach 1984 i 1985. Elektrownia V2 w skojarzonym systemie wytwarza energię elektryczną i ciepło. Po wybudowaniu w roku 1987 scentralizowanego systemu ciepło przesyłane jest do miasta Trnawa. Ogrzewane są również miasta Leopoldov i Hlohovec. Od roku 2002 realizowano kosztem 500 mln Euro program modernizacji bloków V2, który zakończono w 2010 r. uzyskując wzrost mocy do 505 MWe (brutto).

Elektrownia Mochovce

Elektrownia jądrowa znajduje się na południu Słowacji, pomiędzy miastami Nitra i Levice. Wyposażona jest w cztery reaktory WWER 440/V-213. Pierwszy blok dostarcza energię elektryczną do sieci od 1998 r., a drugi od końca 1999 r. Ich moc brutto wzrosła z 440 do 470 MW na każdy blok. Budowa bloków 3 i 4 została zawieszona w 1992 r. i ponownie rozpoczęta w listopadzie 2008 r. Każdy blok EJ Mochovce NPP wytwarza ponad 3000 GWh energii elektrycznej rocznie, co stanowi ok. 11 % zużycia energii elektrycznej na Słowacji. Jednostki EJ Mochovce są jednymi z najmłodszych typu WWER 440/V-213 i wykorzystują najnowsze rozwiązania technologiczne.

Według planów blok 3 zostanie uruchomiony w 2015 r., a kolejny 4 w 2016 r.

Juraj Klepáč,
Division of Nuclear Safety
VUJE Trnava Inc.
Trnava
SLOVAKIA (Slovak Republic)

tłumaczył Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



fot. VUJE, Trnava, Slovak Republic

Fot.1. Słowacka elektrownia jądrowa Bohunice -nocą



I EDUKACYJNE FORUM ENERGETYKI JĄDROWEJ

W dniu 2.04 br. odbyło się w Ministerstwie Gospodarki „I Edukacyjne Forum Energetyki Jądrowej” poświęcone zagadnieniom edukacji w zakresie atomistyki i przygotowaniu kadr dla energetyki jądrowej. W Forum wzięli udział przedstawiciele MG, MEN, MNiSzW, wyższych uczelni, PAN, kuratorów oświaty oraz instytutów naukowych. Otwarcia Forum dokonali wicepremier Janusz Piechociński oraz podsekretarz stanu w MG Hanna Trojanowska. W swoich wystąpieniach podkreślali rolę ośrodków naukowych w rozwoju polskiej energetyki jądrowej oraz w przygotowaniu systemu kształcenia kadr na jej potrzeby.



Fot.1. Hanna Trojanowska i Janusz Piechociński podczas I Edukacyjnego Forum Energetyki Jądrowej

Energetyka jądrowa to nie tylko budowa samej elektrowni, ale przede wszystkim właściwe przygotowanie kadr technicznych niezbędnych dla zapewnienia wiedzy eksperckiej – powiedział wicepremier Janusz Piechociński podczas Forum.

Wicepremier podkreślił znaczenie współpracy z sektorem naukowym dla rozwoju polskiej energetyki jądrowej. W jego opinii wiedza ekspercka jest niezbędna m.in. do określenia warunków technicznych dla budowy obiektów, udziału w procesie inwestycyjnym oraz długoterminowej eksploatacji elektrowni. – *Dzięki budowie zaplecza naukowego i przemysłowego rozwinięta zostanie nowa branża, w której zatrudnienie znajdą specjaliści o najwyższych kwalifikacjach – dodał.*

Wicepremier podkreślił także konieczność zwiększenia produkcji energii w wyniku jej rosnącego rocznego zużycia. Przypomniął, że eksperci prognozują wzrost zapotrzebowania na energię elektryczną w 2030 r. o ok. 36% w stosunku do 2010 r. – *Obok nowych wysokosprawnych elektrowni węglowych, będziemy potrzebować również mocy z innych źródeł: jądrowych, gazowych i odnawialnych – poinformował.*

Obrazy odbywały się w 3 sesjach:

I. Rząd - Regulator - Inwestor - Nauka Na Rzecz Energetyki Jądrowej

II. Szkoły Wyższe Na Rzecz Energetyki Jądrowej

III. Szkoły Ponadpodstawowe na Rzecz Energetyki Jądrowej

W sesji I dyrektor Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej prof. dr hab. inż. Andrzej Chmielewski przedstawił działania IChTJ w zakresie przygotowywania kadr dla energetyki jądrowej. ■



KOMUNIKAT MINISTERSTWA GOSPODARKI

11 kwietnia 2014 r. Hanna Trojanowska, w związku z wypełnieniem powierzonych jej zadań i decyzją Prezesa Rady Ministrów, zakończyła pracę jako pełnomocnik rządu ds. polskiej energetyki jądrowej. Hanna Trojanowska odpowiadała za całokształt rozwoju i wdrażania energetyki jądrowej w Polsce. Przygotowała i przedstawiła Radzie Ministrów Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ). Dokument został przyjęty przez rząd 28 stycznia 2014 r.

Wicepremier, minister gospodarki Janusz Piechociński wyraził uznanie i podziękował Hannie Trojanowskiej za pracę i wkład w budowę Programu Polskiej Energetyki Jądrowej.

Przyjęcie PPEJ przez Radę Ministrów zakończyło formalny etap przygotowań do budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Za realizację zadań w zakresie rozwoju energetyki jądrowej odpowiedzialny jest minister gospodarki, który będzie kontynuował dalsze zadania w tym obszarze. Są one związane przede wszystkim z przygotowywaniem planu w zakresie postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym oraz wspieraniem polskich przedsiębiorców i sektora naukowego na rzecz ich zaangażowania w realizację inwestycji jądrowych w Polsce i za granicą. Ponadto minister gospodarki będzie koordynował działania na rzecz kształcenia i szkolenia kadr dla instytucji i firm związanych z energetyką jądrową, jak również szeroko pojętej komunikacji i edukacji.

Wspólnie z ministrem gospodarki w ramach PPEJ współpracować będą m.in. Ministerstwo Skarbu Państwa, Państwowa Agencja Atomistyki oraz Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych. Realizacja inwestycji należy zaś do inwestora, czyli Polskiej Grupy Energetycznej PGE S.A., która jest bezpośrednio odpowiedzialna za budowę elektrowni jądrowych i infrastruktury towarzyszącej.

– *Nie było do tej pory tak intensywnego i owocnego czasu dla energii jądrowej w Polsce jak ostatnie pięć lat. Po rezygnacji z projektu jądrowego w Żarnowcu na początku lat 90., musieliśmy podjąć pracę od początku – podkreśla Hanna Trojanowska – Dziś, po blisko 5 latach pełnienia funkcji pełnomocnika i wykonaniu powierzonych mi zadań, odchodzę ze stanowiska w poczuciu, że nadany został właściwy kierunek rozwoju energetyki jądrowej w Polsce – dodaje.* ■

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



NARODOWY ORDER ZASŁUGI DLA PHILIPPE'A CASTANETA

W dniu 15 maja br. w Warszawskich Łazienkach miało miejsce uroczyste przekazanie stanowiska prezesa zarządu EDF Polska S.A. Thierry Doucerain przejął oficjalnie obowiązki Philippe'a Castaneta, który kierował Grupą EDF w Polsce przez ponad pięć lat. Za swoje osiągnięcia na rzecz rozwoju gospodarczego Francji w Polsce został uhonorowany przez Ambasadora Francji w Polsce, Jego Ekszelencję Pierre'a Buhlera, Narodowym Orderem Zasługi. Philippe Castanet będzie kontynuował karierę jako przedstawiciel EDF w Ameryce Północnej.



Fot.1. Philippe Castanet, były prezes EDF Polska



Fot.3. Na pierwszym planie Andrzej Chmielewski – dyrektor Instytut Chemii i Techniki Jądrowej oraz Stanisław Latek redaktor naczelny Postępów Techniki Jądrowej

W swoim przemówieniu podziękował wszystkim pracownikom EDF za wspólne osiągnięcia i przyjazną atmosferę pracy zespołowej. Zaznaczył, że zespołowi udało się utrzymać pozycję Grupy EDF w Polsce pomimo wyjątkowo trudnych warunków rynkowych, cytując słowa marszałka Józefa Piłsudskiego: „Być zwyciężonym i nie ulec to zwycięstwo, zwyciężyć i spocząć na laurach to klęska”.

Panu Castanet za pracę dla Grupy EDF w Polsce podziękował Gérard Roth, wiceprezes EDF International oraz nowy prezes, Thierry Doucerain. Podkreślił on, że praca w jednej z największych grup energetycznych w Polsce jest dla niego zaszczytem i że dołoży wszelkich starań, aby zapewnić jej trwałą i efektywną przyszłość. ■

Hanna Kurzydym,
kierownik ds. komunikacji / communication manager,
EDF Polska S.A.,
Warszawa



Fot.2. Od lewej: Pierre Buhler – Ambasadork Francji w Polsce; Philippe Castanet; Thierry Doucerain – prezes Zarządu EDF Polska; Gerard Roth – dyrektor EDF ds. Europy Kontynentalnej

fot. firma EDF Polska S.A.



EUROPEJSKI KONGRES NUKLEARNY 2014

W dniach od 11 do 14 maja 2014 r. w Marsylii odbył się Europejski Kongres Nuklearny (The European Nuclear Conference - ENC) zorganizowany przez Europejskie Towarzystwo Nukleoniczne (European Nuclear Society - ENS). Współorganizatorami wydarzenia było Francuskie Towarzystwo Nukleoniczne (SFEN), Amerykańskie Towarzystwo Nukleoniczne (ANS) oraz Agencja Energii Nuklearnej (NEA). Spotkanie było europejskim forum dyskusji na temat zastosowania technologii jądrowych w energetyce oraz związanymi z tym wyzwaniami i możliwościami. Konferencja miała charakter wielodyscyplinarny, a uczestniczyli w niej energetycy, technolodzy, menadżerowie, decydenci, naukowcy oraz silnie reprezentowana grupa Forum Młodych (organizacji zrzeszającej młodych pracowników energetyki jądrowej). Szczególną uwagę zwracano na innowacje i nowe pomysły, które mogą przyczynić się do rozwoju technologii nuklearnych w przyszłości. Dyskutowano między innymi na tematy dotyczące: działania i bezpieczeństwa instalacji jądrowych, edukacji, szkolenia i zarządzania wiedzą, cyklu paliwowego, technologii reaktorów, nowych elektrowni jądrowych, likwidacji elektrowni jądrowych, okresu eksploatacji instalacji, nowych technologii jądrowych, nuklearnego społeczeństwa obywatelskiego.

Obrady prowadzono w sesjach planarnych oraz w wielu równoległych sekcjach tematycznych. Nowością było forum poświęcone energetyce termojądrowej. Konferencji towarzyszyły targi, na których prezentowały się najważniejsze firmy w branży energetyki jądrowej.

Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, jako członek ENS otrzymuje regularnie zaproszenia na konferencje organizowane przez ENS i ANS. Barierą są niestety bardzo wysokie ceny uczestnictwa, które nie stanowią problemu dla bogatych firm energetycznych. W tym roku po raz pierwszy dzięki pomocy finansowej EDF oraz uprzejmości ENS, który przyznał nam akredytację prasową mogliśmy uczestniczyć w tym wydarzeniu.

Ministerstwo Gospodarki reprezentowała Beata Sparyńska z Departamentu Energii Jądrowej, która zaprezen-



fol. Wojciech Gluszewski

Fot.1. Prezydent ENS Noel Camarcat przygotowuje wystąpienie podsumowujące kongres



fol. z archiwum IChTJ

Fot.2. Skromna polska delegacja na kongresie ENS

wała założenia i status polskiego programu energetyki jądrowej. Prezentacja weszła w skład panelu dotyczącego nowych inwestycji w zakresie energetyki jądrowej, w ramach którego głos zabrali również mówcy z Wielkiej Brytanii, Finlandii oraz Belgii. Polskie doświadczenia w tym zakresie spotkały się z dużym zainteresowaniem uczestników konferencji.

Należy podkreślić, że w wielu wystąpieniach plenarnych wymieniono nasz kraj w gonie gospodarek planujących w najbliższym czasie zbudowanie elektrowni jądrowych. Wspomniano również, że w Polsce działa badawczy reaktor jądrowy, wykorzystywany między innymi do produkcji radioizotopów dla medycyny.

Miałem okazję osobiście poznać prezesa ENS Noela Camarcat, któremu wręczyłem album poświęcony Marii Skłodowskiej-Curie. Wspomniałem, że niedawno podpisaliśmy umowę o współpracy między SFEN i PTN. Namawiałem do organizacji kolejnych wydarzeń ENS w Warszawie lub Krakowie. Zapraszałem również do uczestnictwa w naszej konferencji NUTECH 2014. Zachęcam do odwiedzania strony internetowej ENS <http://www.euronuclear.org/> ■



WIZYTA PROFESORA OLGUNA GÜVENA W INSTYTUCIE CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ

Profesor Olgun Güven wygłosił wykład inauguracyjny pt: "Contemporary application of radiation techniques" podczas konferencji „NUKLEONIKA NA POZĄTKU XXI WIEKU”, organizowanej w ramach zjazdu Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego. Wykład dotyczył najnowszych osiągnięć badawczych oraz aplikacyjnych wykorzystania technik radiacyjnych do syntezy, modyfikacji i sterylizacji różnych materiałów.

Profesor Olgun Güven jest światowej sławy naukowcem zajmującym się zagadnieniami chemii radiacyjnej polimerów. Jest absolwentem Middle East Technical University



XIII ZJAZD POLSKIEGO TOWARZYSTWA NUKLEONICZNEGO

Minęły kolejne trzy lata działalności Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego (PTN) i zgodnie ze statutem Zarząd Główny zwołał Walne Zebranie Członków PTN. Zjazd odbył się 8 maja 2014 r. tym razem w niedawno wyremontowanej sali seminaryjnej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) w Warszawie. Warto dodać, że w ICHTJ dzięki uprzejmości dyirekcji instytutu znajduje się siedziba towarzystwa. Zjazd odbył się według sprawdzonego w poprzednich latach i zatwierdzonego przez zgromadzonych programu. Obszerne sprawozdanie z działalności PTN za ostatnie trzy lata opublikowano wcześniej w kwartalniku Postępy Techniki Jądrowej i Biuletynie Nukleonicznym PTN. Dotychczasowy prezes Zbigniew Zimek wymienił więc jedynie najważniejsze dokonania organizacji, podsumowując jednocześnie 6-letni okres, kiedy pełnił funkcję prezesa PTN. Zakończył swoją misję, gdyż zgodnie z regulaminem po dwóch kadencjach należy wybrać nowego prezesa. W powszechnej opinii bardzo dobrze sprawdził się na tym stanowisku ugruntowując opiniotwórczą funkcję PTN w środowisku związanym z energetyką.

Towarzystwo było postrzegane, jako niezależna, interdyscyplinarna organizacja działająca na rzecz bezpiecznego wykorzystania energii jądrowej w różnych dziedzinach gospodarki, medycyny, rolnictwa, ochrony środowiska, kosmonautyki i nauki ze szczególnym uwzględnieniem energetyki. Zgromadzeni wysłuchali również sprawozdań: sekcji Energetyki Jądrowej, sekcji Zastosowań Technik Jądrowych, Komitetu Publikacji, skarbnika, Komisji Rewizyjnej i Sądu Koleżeńskiego. Zbigniew Zimek w imieniu ustępującego Zarządu Głównego zgłosił propozycję nadania tytułów honorowych Członków PTN: prof. Piotrowi Zaleskiemu i prof. Stefanowi Chwaszczewskiemu. Laudacje na ich cześć wygłosili: Zbigniew Zimek i Stanisław Latek redaktor naczelny PTJ. Wnioski przyjęto przez aklamację. Zjazd udzielił absolutorium ustępującemu Zarządowi Głównemu PTN. Odbyła się również dyskusja programowa. Wnioski zredagowane przez Andrzeja Mikulskiego przedstawimy w następnym numerze PTJ. Na koniec odbyły się wybory nowych władz organizacji:

Prezesem zgodnie z oczekiwaniem została prof. dr hab. Grażyna Zakrzewska – Kołtuniewicz.

Członkami ZG wybrano: mgr Marcina Brykałę, prof. dr hab. Andrzeja G. Chmielewskiego, prezesa PGE EJ 1 Jacka Cichosza, dr Wiesława Gorączko, dr Tomasza Jackowskiego, dr Andrzeja Mikulskiego, dr Marka Rabińskiego, prof. dr hab. Andrzeja Reńskiego, dr Krzysztofa Rzymkowskiego, dr Bożenę Sartowską, prof. dr hab. Jana Składzienia, dr Nikołaja Uzunowa i dr Zbigniewa Zimka.

W skład Komisji Rewizyjnej weszli: mgr Jacek Burski, dr Adam Hryczuk i dr Stanisław Latek. W Sądzie Koleżeńskim ponownie zasiadli: prof. dr hab. Marek Jeżabek, prof. dr hab. Jerzy Niewodniczański i prof. dr hab. Grzegorz Wrochna. Sekretarzem generalnym został ponownie dr inż. Wojciech Głuszewski, a skarbnikiem Zofia Sikora.

fot. Wojciech Głuszewski



Fot.1. Profesor Olgun Güven na XIII Zjeździe PTN

w Ankarze. Stopień doktora (1977) oraz tytuł profesora (1988) uzyskał na Hacettepe University w Ankarze. Jest kierownikiem Laboratories for Radiation & Polymer Science, jednego z najlepiej wyposażonych laboratoriów charakterystyki polimerów w Turcji. Jest autorem bądź współautorem ponad 290 prac naukowych w wydawnictwach o światowej renomie. Był promotorem ponad 22 prac doktorskich. W latach 1996-2002 kierował w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej sekcją zajmującą się promowaniem i wdrażaniem technologii radiacyjnych w państwach członkowskich ONZ. Jest członkiem Turkish Chemical Society, International Union of Pure & Applied Chemistry (IUPAC), National Geographic Society, American Chemical Society, Turkish Academy of Sciences. Uczestniczy w wielu projektach krajowych i zagranicznych, prowadzi wykłady dla studentów i doktorantów na całym świecie. Jest laureatem wielu prestiżowych nagród.

fot. z archiwum Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej



Fot.2. Profesor w otoczeniu słuchaczy wykładów w ICHTJ

W dniach 5 - 9 maja 2014 r. prof. Olgun Güven (Chemistry Department, Hacettepe University, Ankara, Turkey) wygłosił dla doktorantów i pracowników Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej wykłady pt: „Radiation chemistry and technology of polymers”. Wykłady poświęcone były zagadnieniom oddziaływania promieniowania jonizującego z materią, chemii radiacyjnej polimerów oraz możliwości wykorzystania promieniowania jonizującego w nauce, przemyśle oraz nanotechnologii. ■

Nowo wybrana prezes PTN zaprosiła wszystkich na konferencję naukową „Nukleonika na początku XXI wieku”, która odbyła się następnego dnia. Wykład inauguracyjny wygłosił prof. Olgun Güven z Chemistry Department, Hacettepe University, Ankara, Turkey, wieloletni dyrektor Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej, wykładowca na uczelniach w Turcji i Stanach Zjednoczonych. Mówił na temat współczesnych możliwości wykorzystania radiacyjnej modyfikacji tworzyw polimerowych w szczególności w energetyce jądrowej. Dużym zainteresowaniem cieszyła się sesja poświęcona Programowi Polskiej Energetyki Jądrowej. Obszerne referaty wygłosili: wiceprezes Maciej Jurkowski, Państwowa Agencja Atomistyki, dyrektor Zbigniew Kubacki, Ministerstwo Gospodarki, mgr inż. Roman Ruszczyński, główny specjalista w Biurze Przygotowania Inwestycji, PGE EJ 1 sp. z o.o. Omówiono aktualny stan projektu oraz kolejne etapy jego realizacji. Ze szczególnym uznaniem przyjęto wystąpienie przedstawiciela głównego inwestora PGE EJ 1, który wyjaśnił szczegóły ostatnich działań spółki mające doprowadzić do wyboru lokalizacji i inżyniera projektu. Bardzo burzliwy przebieg miała dyskusja, w której zwracano uwagę na potrzebę lepszej promocji programu w szczególności wśród młodzieży akademickiej. Zwracano też uwagę, że zbyt mało jest pozytywnych sygnałów na temat EJ, co często zniechęca młodzież do podejmowania studiów na związanych z nią kierunkach. W ostatniej części konferencji bardzo interesujące wykłady wygłosili przedstawiciele towarzystw związanych z Nukleoniką:

- dr Zbigniew Zimek, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Układy kontroli i usuwania wodoru z obszaru obudowy bezpieczeństwa reaktora jądrowego,
- dr Krzysztof Rzymkowski, SEREN, Trendy w światowej energetyce jądrowej,
- dr Sylwester Sommer, Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych, Radiobiologia: dozymetria biologiczna w służbie energetyki jądrowej.

Przedyskutowano rolę organizacji pozarządowych w realizacji programu EJ. Na koniec jeszcze raz odczytano wniośki ze Zjazdu PTN zachęcając do zgłaszania w ciągu tygodnia uwag i uzupełnień. ZG PTN po konsultacjach zdecyduje o sposobie upowszechnienia dokumentu.

Warto dodać, że oba wydarzenia wsparła finansowo EDF Polska S.A. ■

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



MIĘDZYNARODOWE FORUM ENERGETYKI JĄDROWEJ

W dniu 14 kwietnia 2014 r. w Warszawie odbyła się II edycja Międzynarodowego Forum Energetyki Jądrowej zorganizowanego przez powermeetings.eu we współpracy z Warsaw Voice. Wśród patronów medialnych znajdował się kwartalnik Postępy Techniki Jądrowej.

Jednym z wiodących tematów spotkania było finansowanie polskiego projektu jądrowego. Oto co na ten temat napisała po spotkaniu Polska Agencja Prasowa.

„Polski projekt jądrowy oprze się o oferty agencji kredytów eksportowych, udział banków komercyjnych w jego finansowaniu będzie mało znaczący - ocenia wiceprezes ds. finansowych spółki PGE EJ1 Marzena Piszczek.

„Będziemy się opierać na agencjach kredytów eksportowych, których oferty zazwyczaj są znacznie bardziej atrakcyjne niż oferty z rynku” - mówiła Piszczek w poniedziałek na Międzynarodowym Forum Energetyki Jądrowej w Warszawie. Jak dodała, PGE EJ1 - spółka celowa powołana do budowy polskiej elektrowni - przeanalizowała nieudane projekty jądrowe w Europie z ostatnich lat, stwierdzając m.in., że pozyskiwanie kapitału z rynku okazywało się bardzo drogie.

Podkreśliła, że agencje zapewniają finansowanie nawet na 18 lat, podczas gdy banki krajowe zapewniają finansowanie



Fot.1. Kwartalnik Postępy Techniki Jądrowej był jednym z patronów medialnych forum

fot. Stanisław Latek



Fot.2. Autorem jednego z wiodących referatów przedstawionych na Forum („Nuclear energy for the earth, people, the country and the county”) był dyrektor ICHTJ prof. Andrzej Chmielewski

na 10 lat, a zagraniczne - do 15 lat. Agencje z definicji wspierają przede wszystkim swoich eksporterów, finansując do 85% kontraktu eksportowego i do 30% kosztów lokalnych - zwróciła uwagę wiceprezes PGE EJ1.

Wiceprezes PGE EJ1 zapowiedziała też, że wkrótce podjęta zostanie decyzja o oczekiwanym minimalnym udziale finansowym partnera strategicznego. Finansowanie wpisaliśmy w model pozyskania partnera, który będzie strategiczny, dlatego, że zapewnia operowanie elektrownią jądrową, paliwo, usługi serwisowe oraz pozyskanie finansowania - wyjaśniła.

Marzena Piszczyk wskazała, że w sektorze pojawił się nowy element - dostawcy technologii - zaczęli oferować również elementy finansowania projektów i to daje się zauważyć w rozmowach, jakie z potencjalnymi dostawcami prowadziła PGE EJ1. O ile początkowo mówili o swoim ograniczonym udziale finansowym, teraz mówią, że będą starać się uruchomić takie ścieżki korporacyjne, by dostarczyć i element finansowania - wyjaśniła.

Maciej Bukowski z think-tanku Warszawski Instytut Studiów Ekonomicznych ocenił, że oferty, jakie otrzyma PGE EJ1 mogą być rzędu 4,5 tys. euro za kilowat mocy reaktora, choć „nie zdziwi się”, jeśli będą poniżej 4 tys., zwłaszcza jeśli część finansowania dostarczy sam producent. Przypomniał, że prototyp reaktora EPR w Olkiluoto w Finlandii będzie kosztował ok. 5,3 tys. euro za kW, ale EPR w Taishan w Chinach będą kosztować już po 2,5 tys. za kW.

W opinii Bukowskiego nawet 4,5 tys. euro za MW to bardzo konkurencyjna cena, bo w przyszłości ceny energii będą musiały wzrosnąć. Powodem jest to, że dziś konsumujemy tani prąd ze starych, spalających już elektrowni. Jednak wkrótce

trzeba będzie je wyłączyć, a zbudowanie nowych pochłonie znaczne kwoty, które będą pochodzić z podwyżek cen - mówił.

Podobnego zdania był prof. Konrad Świrski z Politechniki Warszawskiej. Wskazywał, że państwo musi zagwarantować odbiór energii z elektrowni jądrowej i jej cenę, inaczej nikt nie zainwestuje w taką budowę, np. energetyka wiatrowa ma zagwarantowaną cenę i przychody - zauważył.

Świrski ocenił, że dziś cały europejski system energetyczny to „katastrofa na rynku inwestycji”, jego zdaniem pierwszym sygnałem zmiany jest brytyjski projekt kontraktów różnicowych dla nowych elektrowni jądrowych. Powinniśmy go skopiować, bo to rozwiązuje problemy - ocenił Świrski.

Zgodnie z przyjętym przez rząd programem energetyki jądrowej, rozstrzygnięcie postępowania na partnera strategicznego PGE EJ1 powinno nastąpić do końca 2016 r., a pierwszy blok jądrowy miałby ruszyć do końca 2024 r”. ■

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



SPRAWOZDANIE NOC MUZEÓW

Dnia 17 maja 2014 r. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej po raz kolejny wziął udział w organizacji Nocy Muzeów w muzeum Marii Skłodowskiej-Curie. W związku z tym wydarzeniem przygotowano szereg interesujących pokazów i doświadczeń chemicznych, w których każdy z odwiedzających mógł znaleźć coś dla siebie.

Największy entuzjazm wśród zwiedzających muzeum wzbudziły wykonywane eksperymenty. Uczestnicy zabawy mogli przekonać się, jak zachowują się kwiaty po zanurzeniu



Fot.1. Efektowne doświadczenia chemiczne cieszyły się ogromnym zainteresowaniem dzieci



Fot.2. Pokaz „Promieniowanie wokół nas”

w ciekłym azocie, zobaczyć „czarodziejski miecz”, który po umieszczeniu w zlewce z magiczną substancją zaczynał znikać, czy też obserwować wzrastanie roślin w „Chemicznym ogrodzie”. Najmłodsi uczestnicy puścili wodzę wyobraźni tworząc portret Marii Skłodowskiej-Curie na wywarze z czerwonej kapusty, która pod wpływem octu lub sody oczyszczonej zmieniała swoją barwę.

Dużym zainteresowaniem cieszyły się także stanowiska dotyczące promieniotwórczości. Pokaz „Promieniowanie wokół nas” przybliżył i objaśnił, czym jest naturalne promieniowanie na przykładzie pomiarów licznikiem Geigera-Müllera przygotowanych minerałów i soli. Zwiedzający dowiedzieli się także, do czego służy i gdzie może być używana bramka dozymetryczna, po czym z wielką radością dokonywali po-



fot. Paweł Kopceć

Fot.3. Pomiary uczestników Nocy Muzeów na bramce dozymetrycznej

miarów skażenia swoich dłoni i butów. Ostatnim punktem programu był quiz atomowy z atrakcyjnymi nagrodami. Pytania w nim zawarte dotyczyły rozwoju energetyki jądrowej w Polsce i na świecie, co pozwoliło na uświadomienie i poszerzenie wiedzy społeczeństwa.

Tej nocy muzeum odwiedziło wielu gości z Polski, jak i z zagranicy. Wszystkie z przygotowanych przez Instytut atrakcji cieszyły się wielkim zainteresowaniem. ■

Iga Kuźelewska,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



WESTINGHOUSE I UKRAIŃSKI ENERGOATOM PRZEDŁUŻAJĄ DŁUGOTERMINOWĄ UMOWĘ NA DOSTAWY PALIWA JĄDROWEGO

Kijów, 11 kwietnia, 2014 -- Firma Westinghouse Electric Company¹ i Narodowe Przedsiębiorstwo Wytwarzania Energii Jądrowej na Ukrainie (NNEGC Energoatom)² podjęły w dniu dzisiejszym decyzję o przedłużeniu umowy na dostawy paliwa do ukraińskich elektrowni atomowych do roku 2020. Umowa stanowi kontynuację wieloletniej współpracy obu firm przy realizacji bezpiecznych dostaw paliwa jądrowego do ukraińskich reaktorów na zasadach rynkowych.

„Jesteśmy bardzo zadowoleni ze strategicznego partnerstwa naszej firmy z Przedsiębiorstwem Energoatom, a także z możliwości wspierania procesu zaopatrzenia oraz dywersyfikacji dostaw paliw na Ukrainie. Nowa umowa potwierdza wysoką jakość produkowanego przez Westinghouse paliwa dla reaktorów typu WWER, które sprawdza się w Południowo-ukraińskiej Elektrowni Atomowej. Dowiodły tego szczegółowe kontrole przeprowadzone w ostatnim czasie przez Energoatom i Westinghouse. Stosowanie paliwa firmy Westinghouse zostało uznane za bezpieczne nawet biorąc pod uwagę problemy z użytkowaniem paliw konkurencji. Przedłużenie umowy jest także efektem doskonałej wydajności naszego paliwa typu WWER, co umożliwi Energoatomowi

¹ Westinghouse Electric Company należy do grupy Toshiba Corporation, jest jednym z głównych dostawców produktów i technologii dla elektrowni jądrowych na całym świecie. W 1957 r. w Shippingport (Pensylwania, Stany Zjednoczone) firma oddała do użytku pierwszy na świecie reaktor wodny ciśnieniowy. Obecnie technologia firmy Westinghouse jest podstawą działania ok. 50% eksploatowanych na świecie elektrowni jądrowych, w tym większości elektrowni w Europie.

² Narodowe Przedsiębiorstwo Wytwarzania Energii Jądrowej na Ukrainie (NNEGC Energoatom) powstało w październiku 1996 r. Spółka jest operatorem wszystkich działających elektrowni atomowych na Ukrainie. Jej głównym zadaniem jest zwiększenie produkcji energii elektrycznej i współczynnika wykorzystania mocy elektrowni jądrowych, przy jednoczesnym zapewnianiu stałej poprawy bezpieczeństwa ich użytkowania.

kontynuację dywersyfikacji dostaw paliwa” – powiedział Danny Roderick, prezes i dyrektor generalny firmy Westinghouse. „Spodziewamy się, że w przypadku utrzymania bardzo dobrych wyników oraz konkurencyjnej wydajności naszego produktu, udział Westinghouse na ukraińskim rynku paliwa jądrowego będzie się stale zwiększał.”

Pierwszy kontrakt na dostawę paliwa jądrowego przez Westinghouse został podpisany w 2008 r., po raz pierwszy w historii umożliwiając stronie ukraińskiej dywersyfikację dostaw. Podpisany aneks wydłuża termin obowiązywania umowy do 2020 r. Zgodnie z warunkami umowy zawartej z Westinghouse Electric Sweden AB, paliwo będzie produkowane w zakładzie w Västerås w Szwecji. Jest to jedna z największych i najnowocześniejszych wytwórni paliwa jądrowego na świecie, która obsługuje wszystkie najważniejsze rynki w Europie oraz Republikę Południowej Afryki.

Westinghouse jest dostawcą paliwa dla reaktorów wodnych ciśnieniowych, reaktorów wodnych wrzących oraz zaawansowanych reaktorów chłodzonych gazem na całym świecie. Firma posiada dziesięć zakładów produkcyjnych, w tym dwa w Europie: Westinghouse Springfields (Preston, Lancashire, Wielka Brytania) oraz Westinghouse Electric Sweden AB (Västerås, Szwecja). Westinghouse dostarcza obecnie paliwo do 147 elektrowni jądrowych na całym świecie. ■

Hans Korteweg,
Communications Manager
Westinghouse Europe, Middle East & Africa



Fot.1. Okładka magazynu Nuclear Engineering International



ARTYKUŁ NASZEGO AUTORA NA ŁAMACH PRESTIŻOWEGO CZASOPISMA

Na łamach kwietniowego wydania prestiżowego czasopisma Nuclear Engineering International magazine ukazał się artykuł Dariusza Kulczyńskiego. Tytuł artykułu: „Planning for a nuclear Poland”.

Jak widać na fot.1. tekst był anonsowany na okładce w jej prawym górnym rogu. W artykule (vide fot. nr 2) omawiany jest polski program energetyki jądrowej przyjęty niedawno przez Radę Ministrów RP.

Inżynier Dariusz Kulczyński mieszka w Kanadzie. Jest absolwentem Politechniki Warszawskiej. Pracował na różnych stanowiskach w elektrowniach jądrowych w Kanadzie. Opublikował wiele artykułów w polskich czasopiśmie technicznych (także w PTJ), prezentował referaty na wielu konferencjach.

Mimo kilku usterek, jakie wkładły się do tekstu przytoczona publikacja zasługuje na uważną lekturę, a jej autorowi należą się nasze szczerze gratulacje. ■

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



Fot.2. W artykule Dariusz Kulczyński omawia Program Polskiej Energetyki Jądrowej



OD ARGENTYNY PO CHINY: NOWE BLOKI JĄDROWE GOTOWE, LUB PRAWIE GOTOWE DO EKSPLOATACJI

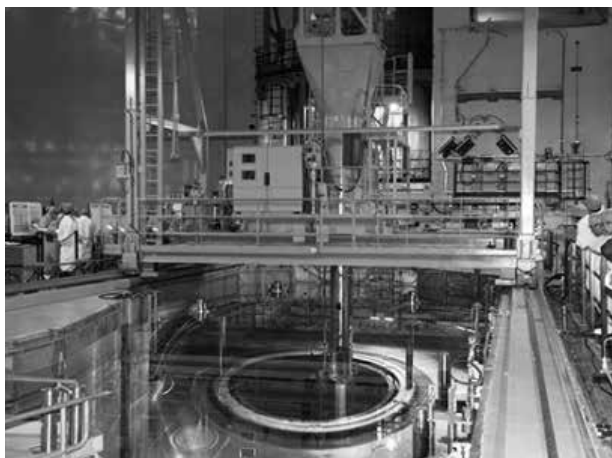
Atucha 2 achieves first criticality **(Atucha 2 osiąga krytyczność)**

4. czerwca portal World Nuclear News zamieścił informację o tym, że ciężkowodny ciśnieniowy reaktor (PHWR) Atucha 2 osiągnął po raz pierwszy stan krytyczny. Stało się to dnia poprzedniego o godz. 9.02 przy obecności w sterowni reaktora ministra planowania Argentyny Julio de Vido.

Kilka dni wcześniej (29. maja) wydana została licencja zezwalająca na rozpoczęcie procesu osiągania krytyczności. Tego samego dnia minister de Vido uruchomił proces napełniania reaktora ciężką wodą z dodatkiem boru. Bor, który silnie absorbuje neutrony, został następnie stopniowo usuwany, co pozwoliło na osiągnięcie kontrolowanej reakcji łańcuchowej i krytyczności.



Fot.1. Minister de Vido i prezes NASA Antunez, w centrum, oglądają jak reaktor osiąga krytyczność (zdjęcia: Ministerstwo Planowania)



Fot.2. Pracownicy umieścili kasety paliwowe wewnątrz rdzenia reaktora Fuqing 1 w (Image: CNNC)



Fot.3. Kudankulam blok 1 i 2 (Image: AtomStroyExport)

Reaktor ATUCHA 2 o mocy 745 MWe ma być wkrótce podłączony do sieci i będzie poddany testom przy różnych poziomach mocy. Dopiero po przeprowadzeniu tych testów możliwa będzie eksploatacja komercyjna, co ma nastąpić pod koniec bieżącego roku. Nowy blok jądrowy ma zapewnić ponad 4% zapotrzebowania Argentyny na energię elektryczną.

Budowa bloku Atucha 2 trwała bardzo długo. W 1994 r. została zawieszona (po 13 latach budowy). Wznowienie prac nastąpiło w roku 2006.

Argentyna ma obecnie dwa bloki jądrowe: Atucha 1 o mocy 335 MWe uruchomiony w roku 1974 oraz blok Embalse (660MWe) pracujący od 1983 r.

Załadunek zestawów paliwowych do rdzenia reaktora pierwszego bloku EJ Fuqing w prowincji Fujian (Chiny)

Następnego dnia (5. czerwca) ten sam portal poinformował o tym, że pierwsze kasety paliwowe zostały umieszczone w reaktorze 31 maja, dzień po otrzymaniu zezwolenia wydanego przez the National Nuclear Safety Administration.

Całkowita liczba kaset, które miały być umieszczone w reaktorze CPR-1000 wynosi 157. Cały proces załadunku miał trwać 7 dni.

Zanim rozpoczęto umieszczanie paliwa w reaktorze, przeprowadzono testy obiegów chłodzenia i systemów bezpieczeństwa. Testy przeprowadzono przy ciśnieniu i temperaturze, jakie będą występowały w reaktorze podczas normalnej eksploatacji.

Budowę bloku Fuqing 1 rozpoczęto w listopadzie 2008 r., natomiast blok drugi elektrowni Fuqing w czerwcu 2009 r. Jego uruchamianie rozpocznie się we wrześniu tego roku.

Przewiduje się, że firma China National Nuclear Corporation's (CNNC's) będzie zabiegać o wybudowanie w lokalizacji Fuqing w prowincji Fujian 6. reaktorów ciśnieniowych zaprojektowanych w Chinach. Fuqing 1 jest pierwszym blokiem z reaktorem CPR-1000 zbudowanym przez CNNC. W czerwcu 2009 r. rozpoczęto budowę bloków Fuqing 3 i 4. Reaktory te mają być uruchomione odpowiednio w roku 2015 i 2016.

Kudankulam 1 reaches full power **(Kudankulam 1 osiągnął pełną moc)**

Trzecie doniesienie World Nuclear Association podane na portalu WNN 9. czerwca dotyczy ważnego wydarzenia w Indiach. News można przetłumaczyć następująco: pierw-

szy blok elektrowni jądrowej Kudankulam w indyjskim stanie Tamil Nadu osiągnął po raz pierwszy 100% nominalnej mocy. W następnym miesiącu ma być rozpoczęta komercyjna eksploatacja.

Mimo, że rosyjski reaktor WWER-1000 był gotowy w marcu 2011 r., jego uruchomienie zostało opóźnione z powodu protestów i działań legislacyjnych, będących następstwem wypadku w Fukushima. Reaktor osiągnął krytyczność w zeszłym roku. Do sieci podłączony został w październiku 2013 r. Od tego czasu stopniowo podnoszono moc reaktora, (wcześniej uzyskując każdorazowo odpowiednie zezwolenia na podniesienie mocy).

Kiedy moc reaktora osiągnęła 75% mocy nominalnej, Nuclear Power Corporation of India Ltd (NPCIL) otrzymała zezwolenie indyjskiego dozoru (Atomic Energy Regulatory Board (AERB)) na zwiększenie mocy do 90%, a następnie do 100%, ale tylko tymczasowo.

NPCIL właśnie ogłosiła, że reaktor osiągnął pełną moc o godz. 1.20 w dniu 7 czerwca. Uruchamiany blok Kudankulam I jest największy ze wszystkich 21 reaktorów eksploatowanych w Indiach. Formalna eksploatacja komercyjna bloku rozpocznie się w następnym miesiącu.

Dwa reaktory WWER-1000 są budowane w Kudankulam zgodnie z postanowieniami dwustronnej umowy rosyjsko-indyjskiej, podpisanej w 1988 r. Budowa obu bloków rozpoczęła się w 2002 r. Miały one być uruchomione w latach 2007-2008. ■

*opracował na podstawie World Nuclear News
Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



RUSZYŁA BUDOWA ŁODOWEJ ŚCIANY W FUKUSHIMIE

Jak donosi portal WNN (<http://www.world-nuclear-news.org>) rozpoczęła się budowa ściany zamrożonego gruntu w elektrowni jądrowej Fukushima Daiichi, aby zapobiec wyciekom substancji promieniotwórczych z budynku reaktora. Oczekuje się, że ściana z zamrożonej ziemi będzie gotowa w ciągu dziewięciu miesięcy.

Tokyo Electric Power Company (TEPCO) rozpoczęła pracę przy budowie podziemnej ściany lodu, po uprzednim uzyskaniu zezwolenia japońskiego dozoru jądrowego.

Zastosowanie technologii zwanej „ścianą lodu” (ice wall) jest już dość powszechne w projektach inżynierskich, takich jak na przykład budowa tuneli w pobliżu cieków wodnych. Badania na małą skalę z wykorzystaniem tej technologii zostały przeprowadzone w Fukushima kilka miesięcy wcześniej. Jednak wykorzystanie technologii ice wall w pełnej skali w EJ Fukushima będzie największą operacją tego typu na świecie.

TEPCO planuje wywiercenie otworów o głębokości 30-35 metrów i wstawienie rur, przez które będzie pompowany czynnik chłodzący. Ten czynnik zamrozi glebę otaczającą pompy tworząc nieprzenikloną barierę wokół budyn-

ków reaktorów. Łącznie, 1550 rur zostanie umieszczonych w ziemi, aby utworzyć 1,5 km długości ścianę lodu wokół bloków 1 - 4.

Jak podają oficjalne źródła medialne, przedstawiciel TEPCO oświadczył: „Planujemy zakończyć wszystkie prace budowlane do marca 2015 r.”.

Koszt budowy ściany lodu szacuje się na ok. 32 mld. jenów (313.000.000 dolarów).

Zmniejszenie ilości zanieczyszczonej wody, jest obecnie dla TEPCO zadaniem priorytetowym. W sposób naturalny wody podziemne przedostają się z lądu do morza, ale w Fukushima Daiichi muszą one przepłynąć przez piwnice/podziemia budynków reaktorów. Uważa się, że ponad 400 ton wody gruntowej wchodzi do piwnic każdego dnia przez przepusty kablowe i rurowe oraz małe pęknięcia, mieszając się z uprzednio silnie zanieczyszczoną wodą używaną do chłodzenia uszkodzonych rdzeni reaktorów.



Fot.1. Pierwsze wiercenie z 1550 otworów w EJ Fukushima Daiichi (fot. Tepco)

Od niedawna wody gruntowe z budynków wokół reaktorów w Fukushima Daiichi są wypompowywane wprost z ziemi, zanim dotarły do elektrowni, a następnie uwalniane są do morza. Ten układ obejścia (bypass) wody gruntowej zmniejsza przedostawanie się wody do piwnic reaktorów o 100 ton na dobę, a więc zmniejsza całkowitą objętość wody, którą TEPCO musi odkażać. Poza wspomnianą „obwodnicą”, została także zbudowana nieprzepuszczalna ściana podziemna pomiędzy reaktorami i morzem. Razem ze ścianą lodu, środki te powinny praktycznie wyeliminować ruch wód gruntowych. ■

Redakcja PTJ



POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ NA ŁAMACH „REVUE GÉNÉRALE NUCLÉAIRE”

Jak już donosiliśmy w numerze w numerze 4/2013 PTJ 28 listopada 2013 r. w Warszawie, w siedzibie Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, Polskie Towarzystwo Nukleoniczne (PTN) i Francuskie Towarzystwo Energii Jądrowej (SFEN) podpisały porozumienie o współpracy w dziedzinie techniki nuklearnej. Ogólnym celem tego porozumienia, które otwiera nowy rozdział w historii utrzymywanych od wielu lat przez oba kraje bliskich relacji w tej dziedzinie, jest postęp naukowo-techniczny w energetyce jądrowej.

Porozumienie umożliwi każdemu z Towarzystw korzystanie z wysokich kompetencji i wiedzy Towarzystwa partnerskiego. Porozumienie przewiduje w szczególności wymianę informacji na temat konferencji i seminariów organizowanych przez każde z Towarzystw oraz kontakty między różnymi zespołami specjalistów, młodych profesjonalistów i studentów. Zakłada również wymianę tekstów i artykułów między wydawnictwami PTN: „Postępy Techniki Jądrowej” i SFEN „Revue Générale Nucléaire” (fot. 1.).

Miło nam poinformować naszych Czytelników, że w 5 numerze RGN ukazał się artykuł omawiający wspomniane porozumienie. Zacytowano także wypowiedź dr. Zbigniewa Zimka, ówczesnego prezesa PTN, który po podpisaniu

FRANCE/POLOGNE

Accord signé entre la SFEN et PTN

La Société Nucléaire Polonaise (PTN) et la Société Française d'Énergie Nucléaire (SFEN) ont signé jeudi 28 novembre 2013 à Varsovie un accord de coopération dans le domaine nucléaire. Cet accord, qui ouvre un nouveau chapitre dans l'histoire des relations privilégiées que les deux pays entretiennent depuis longtemps dans ce domaine, a comme objectif général le progrès des sciences et techniques du secteur de l'énergie nucléaire.

Il permettra à chacune des deux Sociétés de bénéficier des compétences et des savoirs de haut niveau développés par l'autre.

Cet accord prévoit notamment des échanges d'information sur les colloques et séminaires organisés par chaque Société ainsi que des contacts entre différents groupes d'experts et des groupes de jeunes professionnels et d'étudiants. Il prévoit également des échanges de textes et d'articles entre les revues éditées par la PTN (Postępy Techniki Jądrowej) et par la SFEN (Revue Générale Nucléaire).

L'accord signé le 28 novembre 2013 a été conclu pour une durée de 5 ans. Le Président de la PTN, Dr Zimek, a notamment déclaré : « Les objectifs et programmes d'action de nos deux Sociétés sont exceptionnellement convergents et compte tenu de nos centres d'intérêt communs, l'écart important existant entre nos réalisations nous permettra de bénéficier de riches expériences françaises et de contribuer ainsi à l'optimisation du processus de



Le Dr Zimek, Président de la PTN, et Dominique Minière, Président de la SFEN, signent l'accord de coopération

développement de l'énergie nucléaire en Pologne.”

Le Président de la SFEN, M. Minière, a notamment déclaré : « Nos deux Sociétés comptent de nombreux chercheurs. Cet accord permettra de mettre en valeur le dynamisme et le haut niveau de leurs travaux en Pologne et en France et de favoriser les échanges et les avancées dans les secteurs qui façonnent l'énergie nucléaire de demain.”

PTN est coéditeur de la revue «Postępy Techniki Jądrowej (PTJ)». La signature de l'accord entre PTN et la SFEN a eu lieu lors de la Mite donnée à l'occasion du 20^e anniversaire de cette revue.

PTN : Polskie Towarzystwo Nukleoniczne est une association volontariste autogérée œuvrant pour l'utilisation sûre, dans l'intérêt général, des phénomènes, processus et techniques nucléaires, dénommés le nucléaire, en particulier pour la production de l'énergie, le développement de l'industrie et de l'agriculture, et la préservation de la santé et du milieu naturel. PTN aide et soutient les activités de recherche et technique dans tous les domaines du nucléaire, et informe objectivement la société de l'utilisation sûre des phénomènes, processus et techniques nucléaires.

POLOGNE

Mise en service de la première centrale nucléaire en 2024

Le ministère polonais de l'Économie a approuvé fin octobre un programme nucléaire qui organise les différentes étapes requises pour permettre la mise en service de la première centrale nucléaire de Pologne en 2024. D'autres tranches seront en projet, voire en cours de construction, à cette date.

Ainsi, le programme établit la mise en service d'une deuxième tranche avant 2025. D'après le calendrier fixé, la sélection d'un site et la procédure d'appel d'offres seront achevées fin 2016 et la procédure d'autorisation fin 2018.

Par ailleurs, PGE Polska Grupa Energetyczna a passé un accord avec

KGHM Polska Miedź, Tauron Polska Energia et Enesa concernant la future structure actionnariale et fonctionnelle de la société de financement PGE EJ, qui sera chargée de la première centrale. PGE sera l'actionnaire majoritaire, avec 70 % des parts, les trois autres sociétés disposant chacune de 10 %.

RGN N° 5 Octobre-Novembre 2013 11

Fot.2. Podpisanie porozumienia przez Z. Zimka - PTN i D. Minière - SFEN o współpracy w dziedzinie techniki nuklearnej



Fot.1. Okładka francuskiego wydawnictwa Revue Générale Nucléaire



Fot.3. Budowa 3. bloku EJ Flamanville

porozumienia powiedział: « Cele i program działania obu Towarzystw są wyjątkowo zbieżne, a istniejąca istotna różnica w skali dokonań i obszarze zainteresowań, pozwoli nam skorzystać z bogatych doświadczeń zdobytych we Francji, a tym samym przyczynić się do optymalizacji procesu rozwoju energetyki jądrowej w Polsce».

W artykule (zob. fot.2.) poinformowano, że PTN jest współwydawcą czasopisma popularno-naukowego « Postępy Techniki Jądrowej (PTJ) » oraz zaznaczono, że właśnie uroczystość 20-lecia nowej, współczesnej edycji PTJ, była okazją do podpisania porozumienia pomiędzy PTN i SFEN. ■

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POCZTÓWKI Z CZARNOBYLA

Pocztówka pierwsza

Kochani dojechaliśmy, a właściwie dolecieliśmy do Kijowa. Na lotnisku jest spokojnie, nie ma milicji ani innych służb mundurowych. Trochę nas to nawet zdziwiło, bo przecież czas tu niespokojny. W samolocie było bardzo dużo ludzi, po co oni wszyscy tam lecą, zadawaliśmy sobie to pytanie, bo przecież nas też o to pytano. Po co tam teraz się pchacie? Podczas lotu, badaliśmy jak zachowują się urządzenia wskazujące wysokość promieniowania, w końcu leciałam przecież ze specjalistami.

To bardzo ciekawe uświadomić sobie jakie dawki promieniowania przyjmują latający piloci, stewardessy czy pasażerowie na wysokości przelotowej np. 10 tys. m. Dojazd z lotniska pod Kijowem do miasteczka Sławutycz, (co w języku ukraińskim oznacza Dniepr), w którym mamy mieszkać zajął ok.2 godzin.

I kolejne ciekawe spostrzeżenie. Drogi mogą być gorsze niż u nas, naprawdę. Tu są tragiczne, kierowca musiał omijać dziury wjeżdżając czasem na przeciwny pas ruchu. No i ten alfabet, tablice informacyjne mijane po drodze. Moje spotkanie z cyrylicą po wielu, wielu latach. Okazało się, że nie było tak źle, w końcu uczyłam się rosyjskiego przez 13 lat, owszem było to dość dawno, ale jak się wydaje skutecznie. To był mój pierwszy wyjazd na Ukrainę i przyznam, że od początku było to bardzo ciekawe doświadczenie. Wzdłuż drogi gniazda bocianów, a w nich jak zapowiedź nowego, młode bociany wychylające ciekawie łebki. U nas, w Polsce ich jeszcze nie ma. A Sławutycz od pierwszego wejrzenia przypominał mi mijane czasem w drodze na wakacje w czasie dzieciństwa miasteczka, które trochę zadziwiały innością, pewną nostalgią czy po prostu swoistą egzotyką.

Przyjechaliśmy w niedzielę po południu więc było raczej pusto, cicho i sennie. Dopiero wieczorem, gdy spotkaliśmy się na kolacji w jednej z dwóch, czy trzech restauracji w mieście, przypominającej zresztą powierzchnią wielką stołówkę w domu wczasowym ze sklepem spożywczym na parterze, ujrzeliśmy młodych mieszkańców miasta zmierzających do pobliskiego sklepu oraz na główny plac przed urzędem miejskim, gdzie rozsiadło się wesołe miasteczko.

To przedziwne miejsce. Wspomniany urząd miejski, w którym, urzęduje mer; wysoki monument z herbem miasta, wielkim białym aniołem i fragmentem hymnu Sławutycz; pomnik przypominający pręty reaktora jądrowego, a pod nimi zdjęcia ofiar katastrofy, zmarłych od kwietnia do sierpnia 1986 r. i pamiątkowy kamień; dwa sklepy przypominające widziane dawniej także u nas domy handlowe (jeden z nich o bajecznej nazwie SOJUZ, w których, jak się szybko okazało taniej można nabyć ciwiarkę wódki niż półlitrowe opakowanie jogurtu i papierosy, tańsze niż chipsy; nieopodal okazały stadion ze wspinałymi trybunami i bieżnią; plac zabaw dla dzieci, a pośrodku placu wesołe miasteczko z diabelskim młynem, kaczuszkami i karuzelą oraz wszechobecną mocno rozrywkową, dudniącą muzyką i piosenkami w języku angielskim i rosyjskim. Łście surrealistyczna sceneria w nadchodzącym mroku wieczoru.

Rano okazało się jednak, że to 24 tysięczne miasto tętni wręcz życiem, rodzice odprowadzają maluchy do przedszkola, starsze dzieci i młodzież biegnie do szkoły, a mężczyźni i nieliczne kobiety zdążają w kierunku stacji, aby wsiąść do kolejnych pociągów jadących w kierunku elektrowni. Potem będą wracać tak samo tłumnie pod koniec dnia. Miasto wówczas pustoszeje, zostają starsi mieszkańcy, (których nie ma tu zbyt wielu) oraz koty. To kolejny „ukraiński” szok, właśnie KOTY. Jest ich tu mnóstwo, duże i małe (a właściwie tylko duże, bo nawet młode są duże), o różnym umaszczeniu, przepiękne puchate o puszystych ogonach,



Fot.1. Dworzec kolejowy w Sławutyczu

rude, czarne, białe. Wygrzewają się na wiosennym słońcu, leżą pod samochodami, pod sklepami, na trawnikach. Mieszkańcy dbają o nie, dają im jedzenie i wodę. Choć zdecydowanie wolę psy, (których tu jest dość mało, a przynajmniej nie rzucają się w oczy), nie mogłam oprzeć się, aby ich nie głaskać co rano. My także daliśmy się wciągnąć w tę kocią grę, karmiliśmy je resztkami z posiłków i przemawialiśmy do nich czule zgadując, czy ten wspaniały Rudzielec to ten sam, którego widzieliśmy wczoraj.

A właśnie, posiłki. Nasz opiekun, Paweł uprzedzał, że podawane tu jedzenie jest nieco inne od tego, do którego jesteśmy przyzwyczajeni. Nie do końca w to wierzyłam, jak to inne, przecież nadal jesteśmy w Europie. Na śniadanie obiad, na obiad obiad, a na kolację dwa obiady. Pierwsze śniadanie przyniosło rozwiązanie zagadki. Porcje bardzo solidne, wspaniałe zupy, kotlety głównie z kurczaka, kasza, ryż i boczek o poranku i o dziwo mnóstwo surowych warzyw, przepyszne pieczywo i czosnkowe bułeczki, naleśniki i kompoty. Zupełnie jak kiedyś na czasach z Funduszu Wczasów Pracowniczych - FWP z rodzicami. Jak dla mnie za dużo i zbyt obficie, ale pysznie. Tylko jeden mankament, uwielbiam dobrą kawę, ale tu jakby jej nie pijali, tej dobrej oczywiście. Nie można jednak mieć w jednym miejscu wszystkich używek, a było już łatwo o dobrą wódkę i papierosy. Rozumiem to przecież.

Co ciekawe na ulicach nie widać amatorów alkoholowych trunków. A propos ulic. Sławutycz to bardzo ładne miasto. Powstało dwa lata po katastrofie głównie dla pracowników elektrowni. Zbudowano w zasadzie w polu nowe osiedla domków jednorodzinnych i bloki, posadzono drzewa, zaprojektowano parki i miejsca odpoczynku dla mieszkańców, obsadzono kasztanami nowopowstałe aleje i główne ulice. Teraz jest cudnie, bo kwitną drzewa i krzewy. Ulic, o konkretnych nazwach jest niewiele, bo mieszka się tu w tzw. kwartałach, my - w leningradzkim.

Przy tworzeniu miasta pracowali architekci, inżynierowie i budowniczcy z terenu całego Związku Radzieckiego, wszystkie republiki wspierały tę akcję, dlatego w Sławutyczu mają swoje kwartały lub nazwy ulic. Zamieszkało tu jednak stosunkowo niewiele ludzi, po katastrofie mogli oni bowiem wybrać miejsce pobytu po opuszczeniu swoich domów w Prypeci czy Czarnobylu. O dziwo jest tu więc więcej mieszkańców niż potencjalnych mieszkańców, wielu z nich ma więc więcej niż jedną kwartirę. Kiedy zjawiają się przyjezdni, tacy jak my, wynajmują swoje mieszkanie przenosząc się do innego własnego lub do rodziny podreperowując w ten sposób



Fot.2. Przedstawiciel kociej rodziny



Fot.3. Merostwo miasta



Fot.4. Spotkanie z Merem (pierwszy od lewej) oraz jego zastępcą ds. nauki i edukacji



Fot.5. Mer Sławutycza



Fot.6. Wesołe miasteczko

domowy budżet. To nasze, w którym mieszkamy w 6 osób, jest bardzo duże, składa się z 5 pokoi (z przestronnym salonem, w którym swobodnie zmieściły się 22 osoby podczas integracyjnego wieczoru), kuchni, 2 łazienek i 2 balkonów. To też spore zaskoczenie. A jacy są mieszkańcy tego miasta? Wydają się dość zamknięci, nieprzenikliwi, nie mówią zbyt wiele, nie uśmiechają się zbyt często, nie nawiązują kontaktu wzrokowego z obcymi. Kiedy jednak sytuacja zmusi ich do tego potrafią być pomocni, serdeczni i wspierający. Chętnie wskazują drogę, powiedzą co sfotografować i co warto tu zobaczyć, no i która wódka jest najlepsza. Mówią po rosyjsku, rozumiejąc oczywiście język polski. Młodzi i ci najstarsi, znają język ukraiński. Są dumni ze swojego miasta, z tego, że po-

trafli zbudować nowe miasto właściwie na gruzach dotychczasowego życia. Mówi nam o tym wszystkim przewodnik w Krajoznawczym Muzeum miasta Sławutycz. On sam ma polskie korzenie.

Chwali się, że dziś rodzi się tu więcej ludzi niż umiera, że jest dodatni przyrost naturalny, co dobrze wróży na przyszłość. Pokazując kolejne sale w muzeum, opowiada czym żyje miasto, o sławnych i znamienitych gościach, o sportowcach, o osiągnięciach mieszkańców, prezentując zdjęcia, na których niemal zawsze widać obecnego mera miasta, piastującego urząd od wielu, wielu lat. I tu znowu rzecz zadziwiająca. Składamy oficjalną wizytę merowi miasta, spotkaniu towarzyszy jego zastępca i dwóch fotografów. Mer opowiada historię powstania miasta, dziękuje nam, Polakom za wsparcie w tych trudnych dla Ukrainy chwilach, mówi o liście napisanym do Putina, i znowu z dumą i ogromną pasją opowiada



Fot.7. Cerkiew w Sławutyczu (wciąż w budowie)



Fot.8. Nasza grupa z wizytą u mera



Fot.9. Zdjęcia ofiar katastrofy z 1986 r.



Fot.10. Salon w naszym mieszkaniu

o osiągnięciach i wielkich planach dotyczących naukowego i kulturalnego rozwoju miasta. Marzy mu się współpraca z Japończykami w zakresie tworzenia jądrowego centrum edukacyjnego i badawczego, zaprasza do współpracy polskie uczelnie, instytuty naukowe. Wydaje się, że nie ma tu kryzysu ani gospodarczego ani społecznego. Taki współczesny Feniks powstały na zgliszczach.

Pozdrawiam więc, a jutro napiszę kolejną pocztówkę.

Małgorzata Sobieszczak-Marciniak,
Warszawa

fot. Małgorzata Sobieszczak-Marciniak



Fot.11. Wysoki monument z herbem miasta, wielkim białym aniołem i fragmentem hymnu



WNIOSKI Z XIII ZJAZDU POLSKIEGO TOWARZYSTWA NUKLEONICZNEGO

Warszawa, 8 maja 2014 r.

Wnioski merytoryczne kierowane do Zarządu Głównego

1. Należy ustanowić dyplom za wieloletnią działalność w Polskim Towarzystwie Nukleonycznym,
2. Ustanowić medal pamiątkowy przyznawany przez Walny Zjazd na wiosek Zarządu Głównego,
3. Rozważyć możliwości wstąpienia PTN do Federacji Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT i korzyści płynące z wstąpienia (decyzję pozostawia się Zarządowi Głównemu),
4. Podjąć wspólnie z SEP starania powrotu do organizowania regularnych konferencji naukowo-technicznych na temat energetyki jądrowej (wzorem konferencji organizowanych w latach 90. ubiegłego wieku wspólnie z SEP i własnych konferencji organizowanych pod hasłem „Mądralin”).

Propozycje dotyczące energetyki jądrowej:

1. Zintensyfikować działania, aby wdrażanie PPEJ prowadzone było bez opóźnień. Zdaniem uczestników Zjazdu, działania władz w zakresie energetyki jądrowej są zbyt pasywne.
2. Wspierać starania środowiska o to, by Narodowe Centrum Badań i Rozwoju - NCBiR zorganizowało nowy lub zapewniło kontynuację projektu „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej”,
3. Wspierać polskie firmy gotowe do włączenia się w budowę energetyki jądrowej,
4. Kontynuować wsparcie działań w zakresie badania możliwości przystosowania pracy elektrowni jądrowej w kogeneracji,
5. Rozważyć możliwość współorganizowania konferencji nt. systemu zapewnienia jakości przy projektowaniu, budowie i eksploatacji elektrowni jądrowej.

Wnioski organizacyjne kierowane do Zarządu Głównego:

1. Należy przeprowadzić rzetelną weryfikację członków Towarzystwa,
2. Powrócić do idei zorganizowania oddziałów terenowych (gdzie lokalni działacze wykazują aktywność) i wspierać ich w zakresie prowadzonej działalności,
3. Poczynić starania dla szerszego propagowania działalności PTN w środkach masowego przekazu,
4. Uaktualnić informacje o PTN na stronie internetowej (ptn.nuclear.pl).

Uczestnicy Zjazdu dziękują Dyrekcji Instytutu Chemii i Techniki i Jądrowej za życzliwość i gościnność udzielaną Towarzystwu w jego działalności, a w tym możliwość zorganizowania obecnego Zjazdu.

Komisja Wnioskowa XIII Zjazdu PTN

dr Zbigniew Zimek

dr Andrzej Mikulski

Prezes PTN

prof. Grażyna Zakrzewska



LIST DO REDAKCJI

SZANOWNY PANIE REDAKTORZE,

W związku z opublikowanym w ostatnim numerze PTJ (1/2014) artykułu „Pasywne urządzenia do usuwania wodoru z obudowy bezpieczeństwa reaktora jądrowego” zwracam się z uprzejmą prośbą o zamieszczenie komunikatu dotyczącego źródeł finansowania pracy.

Artykuł „Pasywne urządzenia do usuwania wodoru z obudowy bezpieczeństwa reaktora jądrowego” (PTJ 1/2014) powstał w ramach badań finansowanych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju w ramach realizacji części zadania badawczego Nr 7 pt. „Analiza procesów generacji wodoru w reaktorze jądrowym w trakcie normalnej eksploatacji i w sytuacjach awaryjnych z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego w ramach strategicznego projektu badawczego pt.: „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej”(SP/J/7/170071/12).

Serdecznie pozdrawiam,

Zbigniew Zimek,

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,

Warszawa

INSTYTUT BADAŃ JĄDROWYCH - OKRUCHY HISTORII.

CZĘŚĆ 5 – GENEWA 1955.

Janusz Leciejewicz

Jednym z przejawów odprężenia w sytuacji międzynarodowej po śmierci J.V.Stalina w dniu 5 marca 1953 r. była inicjatywa amerykańska, której wyrazem końcowym było wystąpienie ówczesnego prezydenta Stanów Zjednoczonych Ameryki (USA) Dwighta D. Eisenhowera na sesji Zgromadzenia Ogólnego Organizacji Narodów Zjednoczonych w Nowym Jorku w dniu 5 grudnia 1953 r. Wygłosił on wtedy przemówienie zatytułowane „Atom for Peace” (Atom dla pokoju). Wyliczył wszystkie zagrożenia związane z wyścigiem zbrojeń nuklearnych i wezwał państwa członkowskie ONZ do wykorzystywania energii jądrowej do celów pokojowych. Zaproponował zorganizowanie pod patronatem ONZ międzynarodowej agencji, której zadaniem miało być objęcie kontrolą międzynarodową składowanie i dystrybucję materiałów rozszczepialnych oraz konferencji naukowej celem wymiany informacji z dziedziny badań nuklearnych.

Uważa się, że wystąpienie Eisenhowera motywowane było z jednej strony rozpowszechnianiem się reaktorów jądrowych w uprzemysłowionych krajach Europy i Azji, jak i rozwojem broni jądrowej w Związku Radzieckim, czego do-

wodem był fakt detonacji ładunku termojądrowego na poligonie w Semipalatyńsku 12 sierpnia 1953 r. Przez prawie cały rok 1954 prowadzone były rozmowy na szczeblu rządowym między USA i ZSRR zmierzające do ustalenia warunków politycznych i zakresu tematów jakie powinny być przedmiotem konferencji⁽¹⁾.

Głównym spornym przedmiotem pertraktacji było żądanie ZSRR, aby jako warunek wstępny przyjęty został w skali ogólnosiwiatowej zakaz stosowania broni nuklearnej, na co w tym czasie USA nie wyrażało zgody. Niespodziewanie, 29 listopada 1954 r. rząd ZSRR wycofał się z tego warunku. Umożliwiło to przyjęcie 4 grudnia 1954 r. przez Zgromadzenie Ogólne ONZ w Nowym Jorku jednogłośnie rezolucji 810(IX) pod nazwą „*International cooperation in developing peaceful uses of atomic energy*” wzywającej do zorganizowania w sierpniu 1955 r. w Genewie międzynarodowej konferencji celem ustalenia zakresu szerokiej współpracy w dziedzinie pokojowego wykorzystania energii nuklearnej. Ówczesny sekretarz generalny ONZ Dag Hammarskjöld powołał Komitet Doradczy złożony z 7 członków, którzy spotkali się w Nowym

Jorku w dniach 17 i 18 stycznia 1955 r. Podjęta została wtedy decyzja, że konferencja odbędzie się w Genewie w dniach od 8 do 20 sierpnia 1955 r. Sekretarz generalny ONZ w dniu 1 lutego wystosował zaproszenia do udziału w konferencji do 84 państw – członków ONZ, a na jej przewodniczącego Komitetu Organizacyjnego powołał indyjskiego fizyka dr Homi Bhabha. Ponownie Komitet Doradczy zebrał się w Paryżu 23 maja 1955 r. Uzgodniony został wtedy program Konferencji. Trzecim razem przedstawiciele Komitetu spotkali się w Genewie w dniach od 3 do 5 sierpnia celem ustalenia końcowych szczegółów organizacyjnych. Konferencja rozpoczęła się w poniedziałek, 8 sierpnia 1955 r.



Fot.1. Fragment sali obrad w genewskim Pałacu Narodów. W pierwszym rzędzie od prawej - Leopold Infeld, trzeci od lewej - Bronisław Buras



Fot.2. Od lewej Bronisław Buras (1915-1994) i Zdzisław Wilhelmi (1921-2013) przy aparaturze sterującej pokazowym reaktorem amerykańskim

Wkrótce po zakończeniu grudniowej sesji Zgromadzenia Ogólnego ONZ rząd Związku Socjalistycznych Republik Radzieckich (ZSRR) podjął kroki zmierzające do wykazania pozytywnego stanowiska w sprawie pokojowego wykorzystywania energii nuklearnej. 14 stycznia 1955 r. poinformowano oficjalnie, że na planowanej w Genewie konferencji przedstawiona będzie obszerna informacja dotycząca konstrukcji i eksploatacji działającej od 1952 r. w Obnińsku elektrowni jądrowej. Oficjalna agencja radziecka TASS 18 stycznia ogłosiła komunikat, że rząd radziecki jest gotów dostarczyć Krajom Demokracji Ludowej (KDL) doświadczalny reaktor jądrowy oraz cyklotron celem podjęcia w tych krajach programów badawczych i technologicznych w dziedzinie atomistyki. Oświadczenie agencji TASS zostało przedrukowane w prasie polskiej następnego dnia⁽²⁾. Rząd polski przyjął tę propozycję kilka dni później. Związane z nią było zaproszenie dla polskich ekspertów

do ZSRR celem zapoznania się z wybranymi urządzeniami badawczymi, a także z możliwościami prowadzenia przy ich wykorzystaniu badań naukowych i stosowanych. Postawiło to pod znakiem zapytania sens kontynuacji rozpoczętej w połowie 1954 r. inwestycji budowy własnymi siłami reaktora grafitowego. O ile prace nad uzyskaniem grafitu o czystości pozwalającej na użycie go w reaktorze były już w tym czasie zaawansowane i przynosiły pozytywne wyniki, o tyle zagadnienie otrzymywania paliwa uranowego znajdowało się w stadium początkowych dyskusji i nigdy potem w Polsce nie zostało zrealizowane. Spowodowało to, że delegacja polska była ostatnią spośród krajów KDL, które udały się do Moskwy. Wyjechała tam dopiero w pierwszych dniach czerwca. Konsekwencją przyjęcia propozycji radzieckiej było również odtajnienie prac nad reaktorem grafitowym i powołanie Instytutu Badań Jądrowych Polskiej Akademii Nauk⁽³⁾. Umożliwiło to z kolei powołanie w lipcu oficjalnej delegacji na konferencję w Genewie. Delegacja posiadała następujący skład:

prof. Leopold Infeld – członek rzeczywisty Polskiej Akademii Nauk, członek Prezydium Polskiej Akademii Nauk, dyrektor Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Warszawskiego – przewodniczący

prof. dr Henryk Niewodniczański – członek korespondent Polskiej Akademii Nauk, prof. Uniwersytetu Jagiellońskiego, kierownik Zakładu II Instytutu Badań Jądrowych w Krakowie

prof. dr Andrzej Sołtan – członek korespondent Polskiej Akademii Nauk, prof. Uniwersytetu Warszawskiego, dyrektor Instytutu Badań Jądrowych

prof. dr Paweł Szulkin – członek korespondent Polskiej Akademii Nauk, zastępca sekretarza naukowego Polskiej Akademii Nauk, prof. Politechniki Warszawskiej

oraz

przedstawiciel Ministerstwa Spraw Zagranicznych, minister pełnomocny, prof. dr Juliusz Katz-Suchy



Fot.3. Przed wejściem do Pałacu Narodów stoją od prawej Paweł Szulkin, Leopold Infeld, Marian Danysz (odwrócony), Andrzej Sołtan. Zdjęcie z publikacji A. Hryniewiczza⁽⁹⁾

W skład delegacji wchodziło ponadto 13 doradców zob. Tabela 1.

Delegacja polska przedstawiła 5 prac, w tym 2 w trybie ustnym (oral presentation) na sesjach plenarnych, pozostałe opublikowane zostały w materiałach konferencji. Treść wszystkich prac opublikowana jest w szesnastotomowym wydawnictwie materiałów konferencji⁽⁸⁾. W środę, 10 sierpnia na sesji 6A prof. Henryk Niewodniczański przedstawił pracę (P/941) Jerzego Janika (Uniwersytet Jagielloński, Instytut Badań Jądrowych - Kraków) pt. „Investigation of the structure of molecules and the structure of liquids by scattering of thermal neutrons” opublikowaną w tomie II strony 54-55. Ponadto, w wydrukowanych materiałach tej sesji znajduje się praca (P/945) autorstwa Zdzisława Wilchelmiego p.t. „Cross sections of nuclei for n, p, reaction” (Tom II str.102-104). W materiałach konferencji opublikowana jest również praca (P/944) Władysława Jasińskiego i Ignacego Złotowskiego p.t. “On the so-called permissible dose of X-and gamma radiation” (Tom.XIII, str.). Pisemna forma pracy Andrzeja Sołtana (P/942) “Contributions to the method of measuring the concentrations of uranium and thorium in minerals (nuclear emulsions)” została przedstawiona do dyskusji na sesji 15B.2 we wtorek 16 sierpnia po południu. Jest wydrukowana w tomie VIII str. 271-272. Tego samego dnia na sesji 16B.2 wystąpił Bronisław Buras przedstawiając osobiście w języku rosyjskim obszerną informację o prowadzonych od połowy 1954 r. przez kilka instytucji w Polsce pracach nad otrzymaniem grafitu o czystości pozwalającej na



Fot.4. Zygmunt Bieguszewski (1919 - 1976)

Tabela 1. Skład doradców delegacji polskiej na konferencji Genewskiej

L.p.	Imię i nazwisko	Instytucja/funkcja
1.	mgr inż. Zygmunt Bieguszewski	Instytut Badań Jądrowych w Warszawie⁽⁴⁾
2.	doc. Bronisław Buras	- Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego - zastępca dyrektora Instytutu Badań Jądrowych
3.	prof. Marian Danysz	- Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego - Instytut Badań Jądrowych w Warszawie
4.	doc. dr Andrzej Hryniewicz	- Wydział Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, - Instytut Badań Jądrowych w Krakowie
5.	doc. dr Władysław Jasiński	Akademia Medyczna w Warszawie
6.	prof. dr Edward Kowalski	Instytut Hematologii w Warszawie⁽⁵⁾
7.	mgr inż. Władysław Ney	Ministerstwo Energetyki w Warszawie
8.	mgr inż. Mieczysław Perec	Instytut Badań Jądrowych w Warszawie⁽⁶⁾
9.	doc. dr Ignacy Reifer	Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie
10.	mgr inż. Jerzy Roman	Ministerstwo Energetyki w Warszawie
11.	mgr Stefan Świerszczewski	- Wydział Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego, - Instytut Badań Jądrowych w Krakowie
12.	mgr inż. Mieczysław Taube	Ministerstwo Przemysłu Chemicznego⁽⁷⁾
13.	doc. dr Zdzisław Wilhelmi	- Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego - Instytut Badań Jądrowych w Warszawie



Fot.5. Andrzej Hryniewicz



Fot.7. Leopold Infeld (1998-1968)



Fot.6. Edward Kowalski (1914-1967)

wykorzystanie go w reaktorze jądrowym (P/943). Wydrukowana ona jest w materiałach konferencji (tom VIII, Str.478-486) p.t. *Some experiments concerning pile materials*". Na sesji 23A przed południem 20 sierpnia poświęconej teorii reaktorów na przewodniczącego tej sesji zaproszony został Andrzej Sołtan. Był on jedynym członkiem delegacji polskiej, który pełnił taką funkcję w trakcie konferencji.

Na końcowej sesji w sobotę popołudniu 20 sierpnia członek delegacji ZSRR, N. A. Lavrishchev odczytał tekst (P/619) p.t. *Assistance of the Soviet Union to other countries in the peaceful application of atomic energy*" (tom XVI, str.43-45), w którym omówił propozycję dostarczenia krajom KDL reaktora doświadczalnego i cyklotronu złożoną jeszcze 18 stycznia 1955 r. oraz wyliczył urządzenia w Moskwie, Leningradzie, Charkowie, Kijowie i Obnińsku, które zostały pokazane delegacjom poszczególnych krajów KLD podczas ich wizyt w ZSRR w okresie od połowy marca do czerwca. Lavrishchev podał również ogólną charakterystykę reaktora lekkowodnego o mocy cieplnej 2 MW. Bardziej szczegółowe informacje dotyczące parametrów tego reaktora przedstawione zostały już wcześniej przez Y. G. Nikolayeva na porannej sesji 9A w piątek 12 sierpnia (P//621) *"A 2000-kilowatt thermal power reactor for research purposes"* (Tom II, str.399-400). Na sesji zamykającej konferencję w dniu 20 sierpnia zabrał głos także członek delegacji polskiej prof. Paweł Szulkin, który postulował stworzenie możliwie najlepszych warunków dla wymiany informacji i osiągnięć naukowych w dziedzinie atomistyki, podkreślił



Fot.8. Henryk Niewodniczański (1900-1968)

wagę wymiany osobowej pracowników naukowych, szczególnie młodych, na zasadzie wzajemności, umożliwienia im szkolenia w wiodących ośrodkach naukowych i udziału w międzynarodowych konferencjach i seminariach. Zwrócił również uwagę na konieczność przewyższenia trudności w zakupie aparatury do badań naukowych na jakie napotykały kraje, które znajdują się na początku rozwoju badań w dziedzinie atomistyki. Pełny tekst wystąpienia prof. P. Szulkina opublikowany jest w tomie XVI na str.49-50.

Obradom konferencji towarzyszyły dwie zorganizowane z wielkim rozmachem wystawy. Na jednej z nich umiejscowionej w genewskim Pałacu Narodów poszczególne państwa prezentowały swoje osiągnięcia w budowie reaktorów jądrowych różnych typów oraz zastosowań metod jądrowych w technice, medycynie i rolnictwie. Wielką atrakcją był amerykański reaktor typu basenowego „swimming pool” o mocy cieplnej 10 kW z paliwem o wzbogaceniu 20%. W pokazie jego obsługi wzięli udział B. Buras i Z. Wilhelmi. W Pałacu Wystawowym miała miejsce wystawa o charakterze komercyjnym. Duża liczba firm głównie z Europy Zachodniej i USA pokazała swoje produkty w postaci aparatury, urządzeń, instalacji i materiałów wykorzystywanych w dziedzinie fizyki jądrowej i jej zastosowań praktycznych. Jak pisze A. Hrynkiwicz, członkowie delegacji polskiej zabrali ze sobą do kraju prospekty firm ważące w sumie kilkanaście kilogramów. Po zakończeniu obrad niektórzy członkowie polskiej delegacji zwiedzili szereg laboratoriów fizyki jądrowej na terenie Szwajcarii. Tak na przykład, A. Hrynkiwicz, H. Niewodniczański



Fot.9. Andrzej Sołtan (1897-1959)

i S. Świerszczewski zwiedzili niektóre laboratoria CERN oraz Instytut Fizyki Uniwersytetu w Genewie. B. Buras, A. Hrynkiwicz, H. Niewodniczański i A. Sołtan zapoznali się z programem badań i wyposażeniem Instytutu Fizyki Uniwersytetu w Bazylei. Niektórzy członkowie delegacji odwiedzili również zakłady fizyki jądrowej Uniwersytetu oraz Politechniki w Zurychu. W dniu 26 sierpnia z inicjatywy delegacji brytyjskiej w gronie 140 zaproszonych gości, 5 członków delegacji polskiej wzięło udział w jednodniowej wycieczce samolotami do Ośrodka Badań Jądrowych w Harwell, gdzie pokazano im szereg działów tego ośrodka⁽⁹⁾.

Konferencja genewska 1955 r. miała przełomowe znaczenie dla rozwoju atomistyki w skali światowej. Przede wszystkim rozpoczęła się szeroka i intensywna wymiana informacji, doświadczeń i pracowników. Stało się to z kolei stymulatorem podjęcia działań w dziedzinie pokojowego wykorzystywania energii nuklearnej w wielu krajach, w których dotąd zagadnieniami albo w ogóle nie zajmowano się albo zajmowano się nimi w niewielkim zakresie, tak jak w Polsce. Chociaż delegacja polska na konferencję była dość liczna, zgłoszone prace dotyczyły zagadnień przyczynkowych na tle dorobku naukowego przedstawionego na tej konferencji. Praca dopuszczona do pełnego przedstawienia w formie ustnej dotyczyła wyników otrzymywania w Polsce grafitu o czystości jądrowej, co w połowie lat pięćdziesiątych było już problemem przebrzmiałym. Wystąpienie B. Burasa na temat otrzymywania w Polsce grafitu jądrowo czystego było podsumowaniem prac prowadzonych w kraju z dużym rozmachem od połowy 1954 r.



Fot.10. Paweł Szulkin (1911-1987)

i zakończonych w połowie roku 1955 r. z uwagi na decyzję zakupu w ZSRR reaktora lekkowodnego ze wzbogaconym paliwem. Dla delegacji polskiej konferencja stała się ogromnym źródłem nowych informacji naukowych i technicznych i pozwoliła wielu jej członkom po raz pierwszy od 1945 r. na nawiązanie osobistych kontaktów z kolegami w Europie Zachodniej i USA.

Dla atomistyki polskiej konferencja miała doniosłe skutki pośrednie, gdyż przyjęcie propozycji rządu ZSRR o zakupie reaktora lekkowodnego ze wzbogaconym paliwem, było konsekwencją podjęcia decyzji o przeprowadzeniu konferencji, spowodowało to zaniechanie inwestycji budowy reaktora grafitowego własnymi siłami w oparciu o surowce krajowe. Ten typ reaktora doświadczalnego w połowie lat pięćdziesiątych był już reliktem. Również, jak pokazała to przyszłość, produkcja paliwa uranowego w kraju od początku była nierealna. Drugim, niezmiernie ważnym skutkiem było powołanie uchwałą rządu polskiego nr 419/55 z dnia 4 czerwca 1955 r. Instytutu Badań Jądrowych Polskiej Akademii Nauk, w którym skoncentrowano wszystkie działania w dziedzinie atomistyki. Ponadto, instytutowi temu zapewniono na początku znaczne, jak na tamte czasy, środki finansowe, a także preferencje w wynagradzaniu pracowników i zapewnieniu im mieszkań. Budowa reaktora i związanego z nim ośrodka badawczego Świerk Instytutu Badań Jądrowych w pobliżu Otwocka rozpoczęła się późną wiosną 1956 r.

Autor pragnie wyrazić podziękowanie Jackowi Burasowi za udostępnienie i wyrażenie zgody na opublikowanie fot. 1 i fot. 2 z archiwum Rodziny Burasów.

*prof. dr hab. Janusz Leciejewicz,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

Przypisy

- ¹ Wiele szczegółów przebiegu pertraktacji między rządami USA i ZSRR znaleźć można w książce: Dawid Holloway Stalin i bomba. Związek Radziecki a energia atomowa 1939 -1956. Tłumaczenie: Piotr Amsterdamski. Wydawnictwo Prószyński i S-ka. Warszawa 1996. Str. 344-345.
- ² Tekst komunikatu TASS opublikowany także w czasopiśmie: Postępy Fizyki. Tom 6 (1955). Str.161-162.
- ³ Pełny tekst uchwały Prezydium Rządu PRL Nr 419/55 z dnia 4 czerwca 1955 r. znaleźć można w czasopiśmie: Neutrony Nr 5(124) 2005 z dnia 2 czerwca 2005. Str. 1-3.
- ⁴ Zygmunt Bieguszewski (1919 – 1976), absolwent wydziału chemicznego Politechniki Gdańskiej, 1949. W Zakładzie Fizyki Cząstek Elementarnych od 23/01/1955. W latach 1958-1976 kierownik pracowni w Zakładzie XI Eksploatacji Reaktorów w Świerku.
- ⁵ Edward Kowalski (1914 – 1967) – absolwent wydziału farmacji Uniwersytetu Poznańskiego (1938) i Wydziału Medycznego Uniwersytetu Warszawskiego. Profesor nadzwyczajny nauk medycznych 1961 r. W latach 1954-1960 kierownik oddziału w Instytucie Dermatologii w Warszawie. Od 1959 do 15 kwietnia 1967 r. w IBJ – kierownik Zakładu X Radiobiologii i Ochrony Zdrowia.
- ⁶ Mieczysław Perec (1913 -?) – absolwent uczelni w Grenoble, 1938. Po wojnie w instytucjach na Śląsku związanych z hutnictwem. Od 1 lutego 1955 r. w Zakładzie Fizyki Cząstek Elementarnych PAN, a następnie do 31 lipca 1968 r. w IBJ. Kierownik pracowni elektrochemii w Zakładzie XVI. Jesienią 1968 r. wyemigrował do Francji.
- ⁷ Mieczysław Taube (1918 – 2009). Absolwent wydziału chemicznego Politechniki Warszawskiej. Pułkownik LWP. W latach 1951-1956 dyrektor Wydziału Wojskowego w Państwowej Komisji Planowania Gospodarczego, a następnie w Ministerstwie Przemysłu Chemicznego. Od 3 grudnia 1956 do 31 lipca 1968 r. w IBJ. Doktorat -1960. Habilitacja-1963. Od 1 października 1963 r. również w Katedrze Radiochemii Uniwersytetu Warszawskiego. W IBJ kierownik Samodzielnej Pracowni Transuranowców. Pod koniec 1968 r. wyjechał do Szwajcarii.
- ⁸ "Proceedings of the International Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy Held in Geneva 8 August-20 August 1955" United Nations Publication, New York, 1956. Tom I – XVI.
- ⁹ A.Hryniewicz Konferencja Międzynarodowa w Genewie poświęcona pokojowym zastosowaniom energii atomowej" Postępy Fizyki Tom 6 (1955) str. 662-674.



ZDZISŁAW WILHELMI (1921-2013)



W dniu 27 grudnia 2013 r. odszedł od nas prof. Zdzisław Wilhelmi. Pograżeni w smutku i żalu pożegnaliśmy znakomitego uczonego, nestora polskiej fizyki jądrowej, współtwórcę warszawskiego ośrodka badań jądrowych.

Profesor Zdzisław Wilhelmi urodził się w Łomży w 1921 r. Tam spędził dzieciństwo i szkolne lata.

W 1940 r. rozpoczął studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Lwowskiej, które zostały przerwane po zajęciu Lwowa przez Niemców i zamknięciu Politechniki. W czasie drugiej wojny światowej Zdzisław Wilhelmi bardzo aktywnie włączył się w działalność konspiracyjną i wojskową w organizacjach podziemnych, początkowo w Związku Walki Zbrojnej, a następnie w Armii Krajowej. Za działalność konspiracyjną i partyzancką został odznaczony między innymi Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski, Krzyżem Walecznych, Brązowym i Złotym Krzyżem Zasługi z Mieczami, Krzyżem Armii Krajowej i innymi odznaczeniami bojowymi.

Po zakończeniu działań wojennych w 1945 r. prof. Wilhelmi wznowił studia na Politechnice Łódzkiej gdzie w 1948 r. otrzymał dyplom inżyniera elektryka, magistra nauk technicznych. Przygotowana przez niego praca dyplomowa była technicznym projektem cyklotronu. W tym samym roku przeniósł się do Warszawy gdzie podjął studia na kierunku fizyka, które ukończył w 1952 r. przygotowaniem pracy magisterskiej dotyczącej nowej metody wyznaczania wydajności źródeł neutronowych.

Już w 1948 r. jako asystent prof. Andrzeja Sołtana rozpoczął pracę w nowo powstałej Katedrze Atomistyki Uniwersytetu Warszawskiego. Od początku swojej pracy na Uniwersytecie Warszawskim wiele czasu poświęcał projektowaniu i budowie aparatury naukowej. Własnoręcznie złożył i uruchomił zakupiony w Szwajcarii akcelerator kaskadowy, który stał się Jego głównym narzędziem pracy w czasie zbierania materiału do rozprawy doktorskiej. Dzięki przeprowadzonym eksperymentom zgromadził bardzo bogaty materiał doświadczalny o przekrojach czynnych na reakcje z neutronami prędkimi.

W 1954 r. uzyskał stopień doktora fizyki, przedstawiając rozprawę „Przekroje czynne jąder na reakcje (n, p) ” wykonaną pod kierunkiem prof. A. Sołtana. Swoim doktoratem zainicjował wieloletni program badań mechanizmów reakcji jądrowych wywołanych przez neutrony. Program ten był jednym z dwóch głównych kierunków badań w kierowanym przez niego od 1956 r. Zakładzie Fizyki Jądra Atomowego w Instytucie Badań Jądrowych oraz w Katedrze Fizyki Jądra Atomowego Uniwersytetu Warszawskiego, którą objął w 1960 r. po śmierci

prof. Andrzeja Sołtana. Wybór tematyki naukowej okazał się bardzo trafny. Kierowane przez prof. Zdzisława Wilhelmi zespoły fizyków mając do dyspozycji wiązki neutronów prędkich oraz reaktor będący źródłem neutronów o niskiej energii prowadziły badania na światowym poziomie. Opublikowano ponad 60 prac w renomowanych czasopismach naukowych. Prace te są nadal często cytowane. Otrzymane wyniki prezentowane były w ponad 30 referatach na konferencjach międzynarodowych. W ramach tej tematyki, pod kierunkiem prof. Zdzisława Wilhelmi, powstało ponad dwadzieścia prac doktorskich, ok. 100 prac magisterskich, a on sam już po 6 latach od uzyskania stopnia doktora otrzymał tytuł profesora. To dzięki niemu Ośrodek Warszawski w latach sześćdziesiątych stał się jednym z głównych europejskich centrów badania reakcji jądrowych wywołanych prędkimi neutronami. Badania te dostarczyły bogatych informacji o energetycznych zależnościach przekrojów czynnych tych reakcji oraz o katowych i energetycznych rozkładach ich produktów. Przyczyniły się one do rozwoju teorii statystycznej reakcji jądrowych przez stworzenie i eksperymentalną weryfikację nowego modelu gęstości poziomów jądrowych uwzględniającego efekty wynikające z nadciężności materii jądrowej przy niskich energiach wzbudzenia.

Prace te doprowadziły również do wyjaśnienia roli pomiarów stosunków przekrojów na utworzenie różnych stanów izomerycznych jądra końcowego tzw. „stosunków izomerycznych”, jako narzędzia badania mechanizmu reakcji jądrowych. Prowadzone pod kierunkiem prof. Wilhelmi prace pokazały również duży udział oddziaływań bezpośrednich w reakcjach (n, p) i (n, α) oraz występowanie konkurencji pomiędzy emisją z jądra złożonego promieniowania γ a emisją cząstek. Badania, których współautorem był prof. Zdzisław Wilhelmi zwróciły uwagę na ważną rolę w reakcjach jądrowych z niedbywanej w owych czasach emisji kwantów γ . Profesor Wilhelmi bardzo aktywnie uczestniczył również w prowadzonych przez Jego młodszych kolegów pionierskich badaniach nad strukturą neutronowo-deficytowych jąder dalekich od ścieżki stabilności. W badaniach tych zidentyfikowano nowe stany izomeryczne i kilka nowych izotopów. Pokazano, że w jądrach z tego obszaru pojawiają się odstępstwa od kształtu osiowo-symetrycznego. Tematyka ta była podstawą kilku prac doktorskich.

Prowadzenie w tym okresie badań na światowym poziomie ze względu na ograniczenia importowe i brak pieniędzy było możliwe tylko dzięki temu, że ogromna część aparatury naukowej niezbędnej w tych badaniach została zbudowana w kierowanych przez profesora Wilhelmi laboratoriach.

Pod jego kierunkiem zbudowano między innymi na Uniwersytecie Warszawskim i w Instytucie Badań Jądrowych w latach 60. akcelerator liniowy typu Van de Graaffa - „Lech”, magnetyczny separator izotopów, generatory neutronów, bezrdzeniowy toroidalny spektrometr beta o wielkiej świetlności i dobrej zdolności rozdzielczej, selektory neutronów przy reaktorze, liczne detektory promieniowania γ , neutronów i cząstek naładowanych. Urządzenia te przez wiele lat stanowiły podstawowe narzędzia badawcze w Ośrodku Warszawskim.

W latach siedemdziesiątych zainteresowania prof. Wilhelmi i Jego współpracowników skierowały się w stronę reakcji radiacyjnego wychwytu protonów. Znalaziona została nowa metoda wyznaczania gęstości poziomów jądrowych oparta na statystycznej analizie fluktuacji obserwowanych w krzywych wzbudzenia reakcji (p,γ). Reakcje te zastosowano również w badaniach właściwości gigantycznych rezonansów dipolowych. Badając wpływ tych wzbudzeń na przekrój czynny reakcji wskazano, że podobne rezonanse budują się na stanach wzbudzonych jąder atomowych. Prace te były istotne w dalszych badaniach, w których parametry rezonansu gigantycznego pozwoliły wnioskować o kształcie wysoko wzbudzonych jąder atomowych.

W późniejszym okresie prof. Wilhelmi aktywnie włączył się w nurt badań w zakresie fizyki reakcji ciężkojonowych. Uczestniczył w prowadzonych przez międzynarodowy zespół FOPI w GSI w Darmstadt badaniach gorącej i gęstej materii jądrowej powstałej w wyniku zderzenia ciężkich jonów. Inną tematyką leżącą w obszarze naukowych zainteresowań prof. Wilhelmi była przyprogowa produkcja mezonów π i h w reakcjach (p,p) i (p,d) oraz poszukiwania stanów dibarionowych powstających w tych reakcjach. Wspierał budowę detektora WASA zainstalowanego na wiązce akceleratora w Upsali.

Profesor Wilhelmi zawsze wykazywał niezwykłą ciekawość naukową. Przykładem jest natychmiastowe podjęcie przez niego badań „gorących cząstek” osiadłych na terenie Polski po katastrofie w Czarnobylu czy też zajęcie się problemem „zimnej fuzji” zaraz po ogłoszeniu pierwszych, kontrowersyjnych wyników na ten temat.

W dorobku naukowym Profesora znaczące miejsce mają prace aplikacyjne. Opracowana z Jego inicjatywy i przy Jego udziale mikroanalityczna metoda badania cienkich warstw powierzchniowych za pomocą sprężystego rozpraszania protonów, deuteronów i cząstek alfa znajduje liczne zastosowania praktyczne do bardzo czułego badania powierzchni materiałów stosowanych w przemyśle elektronicznym. Profesor Wilhelmi był współautorem patentu dotyczącego nowej konstrukcji metanomierza wykorzystującego promieniowanie jądrowe do określenia zawartości metanu w atmosferze. Pracując krótko w Instytucie Włókiennictwa opublikował w Biuletynie Włókiennictwa pracę na temat pomiarów wytrzymałości przędzy za pomocą dynamometru wahadłowego.

Jego osobisty dorobek naukowy to ponad 100 artykułów w renomowanych czasopismach międzynarodowych, 40 prac przeglądowych i monografii, wiele referatów konferencyjnych oraz dwa podręczniki akademickie. Książka Profesora Wilhelmi, „Fizyka reakcji jądrowych” przez wiele lat była dla studentów i pracowników naukowych podstawowym źródłem informacji na temat reakcji jądrowych.

Wśród wielu zasług, których wszystkich nie sposób wyliczyć, na szczególną uwagę zasługuje wieloletnie zaangażowanie i ogromne sukcesy w dziele wychowania i kształcenia kadry naukowej oraz specjalistów z zakresu fizyki jądrowej. Profesor Wilhelmi wykształcił wielu fizyków jądrowych. Był między innymi promotorem 50 doktorów, dwudziestu pięciu

z wypromowanych przez niego doktorów uzyskało stopień doktora habilitowanego, a 20 spośród nich otrzymało tytuł profesora. Wielu Jego wychowanków stworzyło własne zespoły naukowe i wykształciło kolejne pokolenia fizyków jądrowych.

Od 1968 r. prof. Z. Wilhelmi kierował organizacją 20 Międzynarodowych Mazurskich Szkół Fizyki Jądrowej. Stanowiły one jedno z niewielu w tym okresie forum spotkań polskich fizyków jądrowych z wybitnymi uczonymi z całego świata i sprzyjały rozwojowi międzynarodowych kontaktów.

Atmosfera stworzona przez wspólne żeglowanie, koncerty, wspólne wycieczki sprzyjały nawiązywaniu koleżeńskich kontaktów i powstawaniu pomysłów wspólnych badań. Szkoły te były dla wielu z nas oknem na świat i miejscem kontaktów z międzynarodową społecznością fizyków. To dzięki tym szkołom mogliśmy wyjeżdżać na staże naukowe, wspólne eksperymenty i międzynarodowe konferencje. Cieszyły się one wielką popularnością i renomą w całym świecie naukowym.

Profesor Zdzisław Wilhelmi w okresie burzliwego rozwoju fizyki jądrowej w drugiej połowie ubiegłego wieku był jednym z głównych organizatorów badań, twórcą niezbędnej infrastruktury oraz wychowawcą nowych kadr naukowych. Zaczynając prawie od zera stworzył w Warszawie duży, prężny ośrodek doświadczalnej fizyki jądrowej, ośrodek wyposażony w dobrą kadrę i zaplecze techniczne. Również w późniejszym okresie był jednym z tych, którzy zawsze podejmowali nieustraszone starania o zabezpieczenie finansowe i strukturalne rozwoju badań jądrowych w Polsce oraz włączenie ośrodka warszawskiego do światowego nurtu badań. Między innymi, jako wieloletni przewodniczący Rady Naukowej Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów przyczynił się w znacznym stopniu do budowy w Uniwersytecie Warszawskim izochronicznego cyklotronu ciężkich jonów U200. Wspierał również udział polskich zespołów w największych międzynarodowych projektach badawczych.

Prof. Zdzisław Wilhelmi w latach 1970-1973 pracował na stanowisku dyrektora Wydziału Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Środowiska w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu, instytucji działającej pod auspicjami ONZ. Kierowany przez Niego zespół był odpowiedzialny za zapewnienie bezpiecznego rozwoju energetyki jądrowej i badań z fizyki jądrowej w skali świata, ustalenie norm bezpieczeństwa i wydawanie zaleceń odnoszących się do przerobu paliwa jądrowego oraz do stosowania w pokojowych celach wybuchów nuklearnych. Pomagał wszystkim krajom członkowskim ONZ w sprawach bezpieczeństwa reaktorów i ochrony radiologicznej.

Prof. Zdzisław Wilhelmi otrzymał wiele odznaczeń. Został odznaczony Krzyżem Kawalerskim Orderu Odrodzenia Polski w uznaniu osiągnięć związanych z organizacją Instytutu Badań Jądrowych w Świerku. W 2002 r. otrzymał Krzyż Komandorski Orderu Odrodzenia Polski za całokształt działalności naukowej.

Profesor Wilhelmi był członkiem lub członkiem honorowym wielu towarzystw naukowych krajowych i zagranicznych.

nych między innymi European Physical Society, International Union of Pure and Applied Physics, American Physical Society, British Institute of Physics, New York Academy of Sciences, „Et-tore Majoranna Centre for Scientific Culture,„ (Senior Korespondent). Przez 3 kadencje (1974-1981) był prezesem Polskiego Towarzystwa Fizycznego. W roku 1983 Zjazd Fizyków Polskich przyznał mu członkostwo honorowe PTF. Jest to ogromne wyróżnienie, ponieważ znalazł się w gronie 13 fizyków, jakim od początku istnienia Towarzystwa (1920 r.) został nadany ten zaszczytny tytuł.

W wolnych chwilach prof. Zdzisław Wilhelmi zajmował się popularyzacją nauki, przetłumaczył kilka książek popularno-naukowych, był autorem wielu pogadanek i słuchowisk radiowych w Dziale Audycji Przyrodniczych i Technicznych Polskiego Radia oraz wykładów Wszechnicy Radiowej.

Profesor Zdzisław Wilhelmi pozostanie dla nas niedoścignionym wzorem zarówno twórczej aktywności, jak i zawsze pełnego ogromnej pasji i zaangażowania podejścia do różnych intelektualnych wyzwań. Wspominamy Go jako wspańiałego, pełnego pomysłów człowieka, który często prowokował dyskusje, aby zmusić nas do myślenia i zajęcia własnego stanowiska. W trudnych sytuacjach zawsze mogliśmy liczyć na Jego uśmiech i profesjonalną radę.

Odszedł od nas Mistrz, Kolega i Przyjaciel. Pamięć o Nim i Jego dokonaniach pozostanie w nas na zawsze.

*prof. dr hab. Teresa Rząca,
Dziekan Wydziału Fizyki,
Uniwersytetu Warszawskiego*

*

Pani profesor Teresa Rząca-Urban napisała wiele pięknych słów o prof. Zdzisławie Wilhelmi. Napisała m.in. o tym, że Zmarły wiele uwagi poświęcał wychowaniu i kształceniu kadry naukowej oraz specjalistów z zakresu fizyki jądrowej. Sam Profesor Wilhelmi wykształcił wielu fizyków jądrowych. Przykładem może być moja skromna osoba. Byłem słuchaczem wykładów prof. Zdzisława Wilhelmi, a później pod Jego kierunkiem przygotowałem pracę magisterską, wykonaną zresztą w Instytucie Badań Jądrowych. Podczas wielogodzinnych eksperymentów prowadzonych na reaktorze EWA spotykałem Profesora, który przebywał w Świerku, czasami do późnych godzin wieczornych.

*Stanisław Latek,
redaktor naczelny Postępów Techniki Jądrowej*



WSPOMNIENIE O PROF. DR. HAB. MED. MARII KOPEĆ (1919-2014)



Zmarła 13 maja br. prof. dr hab. med. Maria Kopeć była w latach 1967-1983 kierownikiem Zakładu Radiobiologii i Ochrony Zdrowia Instytutu Badań Jądrowych. Jej ojciec, prof. Stefan Kopeć był wybitnym biologiem, wykładowcą biologii na wydziale lekarskim Uniwersytetu Warszawskiego. Aresztowany był przez gestapo 21 lutego 1941 r., razem z synem

Stanisławem, studentem prawa, i córką Marią, studentką medycyny za organizowanie tajnego nauczania. Rozstrzelano go wraz z synem w Palmirach 11 marca 1941 r. Pani Profesor pozostała więźniem Pawiaka do lipca 1944 r. Wspominana jest niezwykle serdecznie w pamiętnikach więźniarek.

Po wojnie prof. Maria Kopeć dokończyła studia medyczne. Specjalizowała się w hematologii. W 1955 r., kiedy utworzono Instytut Badań Jądrowych - IBJ, przeszła wraz z grupą innych lekarzy z Instytutu Hematologii do Zakładu Ochrony Zdrowia IBJ, wkrótce przekształconego w Zakład Radiobiologii i Ochrony Zdrowia. Jego pierwszym kierownikiem był prof. Edward Kowalski. Od początku tematem badań w zakładzie były zaburzenia hemostazy, występujące m.in. w chorobie promiennej. W następnych latach doszły inne tematy, jednak mechanizmy krzepnięcia krwi i fibrynolizy były przez wiele lat badane w zakładzie i pozostały przedmiotem zainteresowań Pani Profesor jeszcze w wiele lat po Jej przejściu na emeryturę.

Kiedy po śmierci prof. Edwarda Kowalskiego prof. Maria Kopeć została kierownikiem zakładu, działały w nim 4 pracownice o zróżnicowanej tematyce badań. Profesor Maria Kopeć pozostawiała współpracownikom dużą swobodę w wyborze tematyki i prowadzeniu badań, uważnie i krytycznie obserwowała wszystkie prace. Znakomicie orientowała się w prowadzonych badaniach. Jednocześnie była wspańiałym lekarzem i konsultantem w Instytutach Hematologii i Reumatologii. Profesorem została w 1971 r., była też promotorem 13 prac doktorskich.

Jej zakład został z przyczyn politycznych dwukrotnie pozbawiony znacznej części pracowników – w roku 1968 i 1983. Ci, którzy musieli odejść – mieli Jej radę i wsparcie. W 1983 r., po podziale IBJ na 3 instytuty i zwolnieniu lub zawieszeniu osób „nieprawomyślnych” seminaria i dyskusje dla wszystkich, także tych zwolnionych z pracy, odbywały się przez jakiś czas w Jej mieszkaniu. Pracowała w Komisji Zdrowia NSZZ Solidarność, nie kryła swojego poparcia dla opozycjonistów, broniła zwalnianych pracowników i została w 1983 r. pozbawiona kierownictwa zakładu. Wkrótce potem odeszła z instytutu pozostając współpracownikiem i konsultantem w Instytutach Hematologii i Reumatologii i publikując kolejne prace jeszcze przez kilkanaście lat – dopóki pozwalało Jej zdrowie. W sumie

opublikowała ponad 180 prac zarówno w czasopismach krajowych, jak i międzynarodowych.

Pani Profesor była członkiem Polskiej Akademii Umiejętności - PAU, członkiem-korespondentem Polskiej Akademii Nauk - PAN od 1976 r., rzeczywistym - od 1991 r.; była w Radzie Naukowej Centrum Medycyny Doświadczalnej i Klinicznej PAN w latach 1982-1989, w licznych towarzystwach naukowych (Towarzystwo Naukowe Warszawskie, Towarzystwo Popierania i Krzewienia Nauki, International Society of Thrombosis and Hemostasis, International Society of Hematology, International Committee on Thrombosis and Hemostasis, Eu-

ropean Thrombosis Research Organization, Danubian League Against Thrombosis and Hemorrhagic Disorder). Członkostwo honorowe przyznało Jej Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych oraz Polskie Towarzystwo Hematologów i Transfuzjologów. Przez 2 kadencje była w Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów, recenzowała wiele publikacji i prac doktorskich.

Pani Profesor była odznaczona Krzyżem Walecznych, Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski, Krzyżem Komandorskim Orderu Odrodzenia Polski. Dla wszystkich, którzy ją znali była wielkim autorytetem naukowym i moralnym.

Wybrane publikacje

L.p.	Autor/tytuł
1.	Kopec M, Wegrzynowicz Z, Lopaciuk S, Beer J. [Fibrinolytic activity in the radiation syndrome in dogs]. <i>Thromb Diath Haemorrh</i> 1961;5:583-594.
2.	Wegrzynowicz Z, Kopec M, Latallo Z, Kowalski E. Studies on the coagulation and fibrinolytic system in lethally irradiated dogs. <i>Arch Immunol Ther Exp (Warsz)</i> 1964;12:524-533.
3.	Budzynski AZ, Stahl M, Kopec M, Latallo ZS, Wegrzynowicz Z, Kowalski E. High molecular weight products of the late stage of fibrinogen proteolysis by plasmin and their structural relation to the fibrinogen molecule. <i>Biochim Biophys Acta</i> 1967;147(2):313-323.
4.	Dudek-Wojciechowska GA, Kloczewiak M, Latallo ZS, Kopec M. Characterisation of large fragments rich in disulphide bridges from CNBr-treated products of exhaustive proteolysis of fibrinogen by plasmin. <i>Biochim Biophys Acta</i> 1973;295(2):536-542.
5.	Stachurska J, Lopaciuk S, Gerdin B, Saldeen T, Koroscik A, Kopec M. Effects of proteolytic degradation products of human fibrinogen and of human factor VIII on platelet aggregation and vascular permeability. <i>Thromb Res</i> 1979;15(5-6):663-672.
6.	Jelenska MM, Fesus L, Kopec M. The comparative ability of plasma and tissue transglutaminases to use collagen as a substrate. <i>Biochim Biophys Acta</i> 1980;616(2):167-178.
7.	Jelenska MM, Kopec M. Platelet-mediated collagen and fibrin retraction: effect of prostaglandins, cyclic AMP, calcium antagonists and N-ethylmaleimide. <i>Thromb Res</i> 1983;30(5):499-509.
8.	Bykowska K, Kaczanowska J, Karpowicz M, Stachurska J, Kopec M. Effect of neutral proteases from blood leukocytes on human platelets. <i>Thromb Haemost</i> 1983;50(4):768-772.
9.	Kopec M, Jelenska M, Wegrzynowicz Z, Dancewicz AM. Effects of x-rays irradiation on collagen-platelet interaction. <i>Acta Univ Carol Med Monogr</i> 1972;53:41-44.
10.	Kowalski E, Kopec M, Wegrzynowicz Z. Influence of fibrinogen degradation products (fdp) on platelet aggregation, adhesiveness and viscous metamorphosis. <i>Thromb Diath Haemorrh</i> 1964;10:406-423.
11.	Kopec M, Budzynski A, Stachurska J, Wegrzynowicz Z, Kowalski E. Studies on the mechanism of interference by fibrinogen degradation products (FDP) with the platelet function role of fibrinogen in the platelet atmosphere. <i>Thromb Diath Haemorrh</i> 1966;15(3):476-490.
12.	Kuratowska Z, Kopec M. Renal erythropoietic factor--some properties and its interaction with histones. <i>Br J Haematol</i> 1969;16(5):465-473.
13.	Szczeklik A, Kopec M, Sladek K, Musial J, Chmielewska J, Teisseyre E, Dudek-Wojciechowska G, Palester-Chlebowczyk M. Prostacyclin and the fibrinolytic system in ischemic vascular disease. <i>Thromb Res</i> 1983;29(6):655-660.
14.	Jelenska M, Bykowska W, Kopec M, Vigh Z, Scharrer I, Breddin K. Effects of human elastase on von Willebrand factor in highly purified factor VIII concentrate and in cryoprecipitate. <i>Thromb Res</i> 1990;59(2):295-307.
15.	Łętowska M, Bykowska K, Sablinski J, Łopaciuk S, Kopec M. Venostasis but not DDAVP infusion provokes the plasma fibronectin increase. <i>Thromb Haemost</i> 1990;64(2):294-296.
16.	Bykowska K, Łętowska M, Sablinski J, Binder BR, Kopec M, Lopaciuk S. Secretory response of the vessel wall to DDAVP and venous occlusion in von Willebrand's disease. <i>Acta Haematol Pol</i> 1994;25(3):261-268.
17.	Jelenska MM, Kopec M, Scharrer I, Breddin K. Cathepsin G can be responsible for von Willebrand factor degradation in whole blood during storage. <i>Transfus Med</i> 1995;5(3):241-242.

*prof. dr hab. Irena Szumiel,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa,*

14-16 PAŹDZIERNIKA 2014 r. CENTRUM WYSTAWOWE PARIS LE BOURGET Paryż, 28 kwietnia 2014r.

**POWSTANIE WNE – WORLD NUCLEAR EXHIBITION
PIERWSZYCH ŚWIATOWYCH TARGÓW BRANŻY
NUKLEARNEJ WE FRANCJI UKIERUNKOWANYCH
NA BIZNES**

- jedyna w swoim rodzaju platforma spotkań biznesowych
- ponad 400 wystawców już zarejestrowało swój udział w targach
- obecność wszystkich najważniejszych profesjonalistów z branży
- 6 000 oczekiwanych odwiedzających - międzynarodowych ekspertów i decydentów pracujących dla liderów sektora oraz organizacji rządowych
- Ciekawy program wydarzeń z udziałem międzynarodowych specjalistów wysokiego szczebla ...
- ... oraz bogata oferta imprez towarzyszących

Nowe targi WNE stworzone z inicjatywy AIFEN – Francuskiego Stowarzyszenia Eksporterów Przemysłu Nuklearnego (Association des Industriels Français Exportateurs du Nucléaire) **odbędą się od 14 do 16 października 2014r. w Centrum Targowym Paris Le Bourget.** Głównym celem targów jest stworzenie profesjonalistom z branży nuklearnej możliwości wymiany doświadczeń, nawiązania współpracy, znalezienia nowych dostawców oraz rozwijania działalności eksportowej.

SEKTOR, W KTÓRYM PRZEWIDUJE SIĘ DUŻY WZROST

430 central na całym świecie, budowa do roku 2025 nowych elektrowni co zwiększy o 50% wydajność energetyki jądrowej, wydłużenie działalności i zwiększenie bezpieczeństwa istniejących siłowni, cykl paliwowy, składowanie odpadów promieniotwórczych oraz rozbiórka niedziałających elektrowni... wszystkie te zagadnienia są w kręgu zainteresowania **targów WNE** oraz stanowią **potencjał ich rozwoju.**

TARGI, KTÓRE ANGAŻUJĄ WSZYSTKICH AKTORÓW BRANŻY NUKLEARNEJ

Wszystkie gałęzie branży będą reprezentowane na targach począwszy od cyklu paliwowego po gospodarkę odpadami promieniotwórczymi, poprzez materiały, eksploatację, bezpieczeństwo, ochronę radiologiczną, rozbiórkę elektrowni, robotykę, szkolenia zawodowe i wykorzystanie technik jądrowych w medycynie...

Ponad 400 wystawców zgłosiło już swój udział w targach WNE, aby zaprezentować swoją ofertę ponad 6 000 odwiedzających pochodzących z Europy, Azji, Afryki, Środkowego Wschodu, Ameryki i Rosji...

W targach wezmą udział liderzy z branży, m.in.: ALSTOM, ALTRAN, ANDRA, AREVA, ARCELOR MITTAL, ASSYSTEM, BOCCARD, BUREAU VERITAS, BOUYGUES CONSTRUCTION, CEA, COFELY ENDEL, DAHER, DCNS, EDF, GDF SUEZ, LEMER PAX, MITSUBISHI, ONET TECHNOLOGIES, ROBATEL, ROLLS ROYCE, ROSATOM, VALLOUREC, VEOLIA / ASTERIS, VINCI, WESTINGHOUSE, ZETEC... Oraz liczne małe i średnie przedsiębiorstwa.

BOGATY PROGRAM WYDARZEŃ

6 okrągłostołowych debat animowanych przez międzynarodowych specjalistów wysokiego szczebla będzie poświęconych następującym tematom: **eksploatacja elektrowni jądrowych, cykl paliwowy, technologie jutra, rozbiórka elektrowni, gospodarowanie odpadami, szkolenia zawodowe i wykorzystanie technik jądrowych w medycynie.**

W celu **prezentacji najważniejszych informacji dotyczących targów** i naświetlenia mocnych stron WNE (podpisane kontrakty, nawiązane współpracy) organizatorzy uruchomią « **WNE Tribune** » - dziennik targów, który będzie dystrybuowany w alejkach targowych oraz « **Kanał TV** » re-lacjonujący na żywo najważniejsze wydarzenia.

Oprócz samych targów organizatorzy proponują odwiedzającym bogaty program wydarzeń towarzyszących oraz wizyt technicznych. Zapraszamy na tydzień branży nuklearnej.

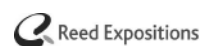
WNE – WORLD NUCLEAR EXHIBITION – MA JEDEN CEL: STAĆ SIĘ PUNKTEM ODNIESIENIA DLA PRZEDSTAWICIELI BRANŻY NUKLEARNEJ Z CAŁEGO ŚWIATA

Więcej informacji:

<http://www.world-nuclear-exhibition.com>

KONFERENCJA PRASOWA TARGÓW ODBEDZIE SIĘ W PARYŻU 5 CZERWCA 2014 r. Paryż, 2 rue André Pascal - Paris 16^{ème}

Kontakt dla prasy: Wydarzenie zainicjowane przez: Organizator:



Catherine Rouillé www.aifen.fr www.reedexpo.fr
Nathalie Vinatier
Nathalie Laurent
contact@cr-communication.fr

Przedstawicielstwo targów WNE w Polsce : Międzynarodowe Targi Francuskie

Tel. : 48 22 815 64 55

e-mail: promopol@it.pl

poland@promosalons.com



ŚWIATOWE TARGI SEKTORA ENERGII JĄDROWEJ

14 - 16 PAŹDZIERNIKA 2014 - CENTRUM TARGOWE PARIS LE BOURGET – FRANCJA

- ▶ Pierwsze światowe spotkanie branży nuklearnej ukierunkowane na biznes
- ▶ Ponad 400 wystawców pochodzących z Europy, USA, Rosji, Azji oraz Środkowego Wschodu
- ▶ 6000 wysoko kwalifikowanych odwiedzających – decydentów pracujących dla liderów sektora oraz organizacji rządowych
- ▶ Bogaty program konferencji technicznych i ekonomicznych oraz debat, które będą animowane przez międzynarodowych specjalistów wysokiego szczebla
- ▶ Jedyna w swoim rodzaju platforma spotkań biznesowych oraz networkingu

An event by



Organised by



Więcej informacji

wne@reedexpo.fr

www.world-nuclear-exhibition.com

XIII ZJAZD POLSKIEGO TOWARZYSTWA NUKLEONICZNEGO



Od lewej prof. Lech Waliś,
prof Stefan Chwaszczewski, dr Marek Rabiński



Wykład inauguracyjny wygłasza
prof. Olgun Güven z Ankary (Turcja)



Prof. Olgun Güven i dr. Zbigniew Zimek



Na pierwszym planie
mgr inż. Roman Ruszczyński
z PGE EJ1



Wykład wygłasza przedstawiciel PGE EJ1



Prof. Andrzej Chmielewski
i Wiceprezes Maciej Jurkowski



Dr Sylwester Sommer



Dr Zbigniew Zimek i prof. Grażyna Zakrzewska



Widok na salę obrad



Honorowy członek PTN dr Tadeusz Wójcik



Dr Marcin Brykała