

POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 62 Z. 2 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2019



2019: mija 30 lat od zatrzymania budowy EJ Żarnowiec

czytaj na str. 2

2-2019

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

JAK TO Z „ŻARNOWCEM” BYŁO – REFLEKSJA 30 LAT
PO WSTRZYMANIU BUDOWY

Część I: Od początków do wstrzymania budowy

Władysław Kielbasa2

BADANIA NAD TOROWYM CYKLEM PALIWOWYM
W AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ

Mikołaj Oettingen, Paweł Gajda14

KONTROLOWANIE DEGRADACJI KABLI
I PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH
W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Grażyna Przybytniak, Jarosław Sadło, Marta Walo.....18

WPŁYW ENERGETYKI JĄDROWEJ NA ŚRODOWISKO

Krzysztof Rzymkowski.....24

ROZPOZNAWANIE CZĘŚCIOWEGO NAPROMIENIENIA
CIAŁA PRZY POMOCY TESTU MIKROJĄDROWEGO

Sylwester Sommer, Iwona Buraczewska,
Marcin Kruszewski.....30

RADIOLIZA BIODEGRADOWALNYCH PIANEK PLA/PCL

Wojciech Głuszewski33

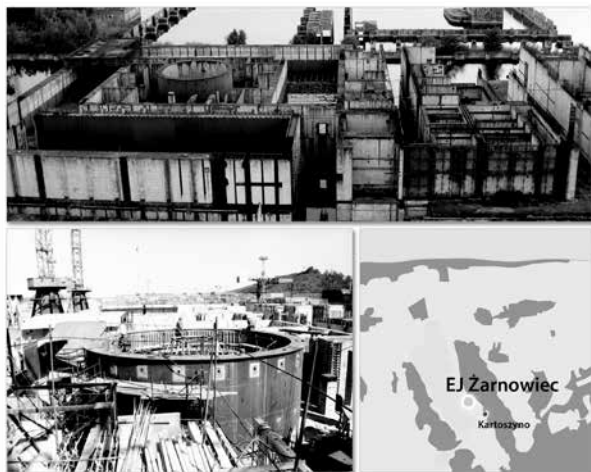
DONIESIENIA Z KRAJU36

DONIESIENIA ZE ŚWIATA42

WYDARZENIA52

WSPOMNIENIA58

IN MEMORIAM59



więcej informacji na str. 2



Kwartalnik naukowo-informacyjny
Postępy Techniki Jądrowej

Wydawca:

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

Kontakt Telefoniczny:

Tel. 22 504 12 48

Fax.: 22 811 15 32

Redaktor naczelny:

Stanisław Latek

S.Latek@ichtj.waw.pl

Komitet redakcyjny:

Wojciech Głuszewski

Maria Kowalska

Łukasz Sawicki

Marek Rabiński

Edward Rurarz

Elżbieta Zalewska

Współpracują z nami:

Andrzej Mikulski

Małgorzata Sobieszczak-Marciniak

Małgorzata Nowina-Konopka

Redakcja:

PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

Adres strony internetowej PTJ:

<http://ptj.waw.pl>

Opracowanie graficzne:

Hubert Stańczyk (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.

Recenzowanie artykułów

Większość manuskryptów przesyłana jest do recenzowania
przez 1-2 ekspertów z dziedziny, której dotyczy artykuł. Na
podstawie opinii recenzentów artykuły są akceptowane do
druku, kierowane do poprawy, lub odrzucane.

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

Szانونi Państwo

Na początku czerwca br. w Świerku odbyło się seminarium Zakładu Energetyki Jądrowej i Analiz Środowiska Narodowego Centrum Badań Jądrowych na temat: „Determination of the restricted use area and emergency planning zones for the planned nuclear power plant in Poland”. Chodziło o określenie zakresu przestrzennego stref ograniczonego dostępu wokół planowanej pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Jedną z planowanych lokalizacji jest Żarnowiec.

W dyskusji po seminarium zarekomendowałem licznie zgromadzonym młodym ludziom lekturę uzupełniającą, czyli przeczytanie artykułu o Żarnowcu w bieżącym numerze „Postępów”, autorstwa obecnego na seminarium Władysława Kielbasy. Artykuł dotyczy nie przyszłości, lecz przeszłości. Tytuł artykułu: „Jak to z »Żarnowcem« było – refleksja 30 lat po wstrzymaniu budowy”. Część I: Od początków do wstrzymania budowy”. W artykule (podzielonym na dwie części) przedstawiono historię Elektrowni Jądrowej (EJ) „Żarnowiec”. Historię tę pokazano na tle sytuacji gospodarczej, społecznej i politycznej w Polsce, z uwzględnieniem także aspektów międzynarodowych, które miały wpływ na losy tej inwestycji. Szczególną uwagę poświęcono znaczeniu, jakie dla podjęcia decyzji o zaniechaniu kontynuacji budowy EJ „Żarnowiec” miała katastrofalna awaria czarnobylska, której skutki radiacyjne dotknęły także społeczeństwo polskie.

W następnym numerze czasopisma opublikujemy drugą część artykułu.

Kolejny tekst w bieżącym numerze dotyczy badań nad torowym cyklem paliwowym w Akademii Górniczo-Hutniczej. Autorami artykułu są Mikołaj Oettingen i Paweł Gajda.

Pierwiastek tor może zostać wykorzystany jako alternatywne paliwo dla energetyki jądrowej. Posiada on szereg zalet, które świadczą o jego użyteczności w jądrowym cyklu paliwowym, m.in. jego koncentracja w naturze jest od 3 do 5 razy większa niż koncentracja uranu, a zużyte torowe paliwo jądrowe charakteryzuje się mniejszą długotrwłą radiotoksycznością niż zużyte paliwo uranowe. Badania nad torowym cyklem paliwowym prowadzone są również w Polsce. W Katedrze Energetyki Jądrowej, Wydziału Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica (AGH) w Krakowie znajduje się unikatowy w skali Polski zestaw Th-Pb pozwalający na prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad paliwem torowym.

Grażyna Przybytniak, Jarosław Sadło i Marta Walo są autorami artykułu na temat kontrolowania stopnia degradacji kabli i przewodów elektrycznych w elektrowniach jądrowych. Przewody i kable elektryczne są istotnymi elementami systemów zapewniających stabilną i bezpieczną pracę reaktorów jądrowych. Każda jednostka elektrowni jądrowej wymaga ok. 1500 km różnego typu kabli, które nie są przeznaczone do wymiany w czasie eksploatacji reaktora przewidzianej na 40-60 lat, pomimo degradujących warunków panujących w obudowie bezpieczeństwa, na które składają się: podwyższona wilgotność i temperatura, promieniowanie gamma, występowanie ozonu czy naprężenia mechaniczne.

Nasz stały autor Krzysztof Rzymkowski tym razem przedstawia zalecenia dotyczące ochrony środowiska przy projektowaniu i budowie zakładów przemysłu jądrowego oraz sposoby unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych.

Zespół autorów Sylwester Sommer, Iwona Buraczewska, Marcin Kruszewski dowodzi w swoim artykule, że test mikrojądrowy nie pozwala jednoznacznie na rozpoznawanie częściowego napromienienia ciała. Jest to ważna konkluzja z punktu widzenia dozymetrii biologicznej.

Wojciech Głuszewski w krótkim artykule omawia degradację polimerowych tworzyw komórkowych do nietoksycznych produktów, która jest warunkiem koniecznym w przypadku wielu materiałów medycznych. W artykule zaproponowano wykorzystanie do badań radiolizy biodegradowalnych polimerów chromatografii gazowej i DRS.

A oto przegląd doniesień o wydarzeniach w polskiej atomistyce, (lub pośrednio wiążących się z tą dziedziną gospodarki, nauki i technologii).

Minister Energii Krzysztof Tchórzewski wręczył w dniu 17 kwietnia br. medal 100-lecia Odzyskania Niepodległości oraz dyplom stwierdzający jego nadanie prof. dr hab. Andrzejowi Chmielewskiemu. Redakcja PTJ serdecznie gratuluje Panu Dyrektorowi otrzymania tego zaszczytnego wyróżnienia.

W ostatnim czasie ogólnopolskie media praktycznie nie informują o Polskim Programie Energetyki Jądrowej (PPEJ). Nie oznacza to jednak, że o PPEJ zapadła kompletna cisza. W niniejszym zeszycie PTJ prezentujemy skany tytułów kilku publikacji, które pojawiły się w czasopiśmie branżowych lub regionalnych. W artykułach przedstawiono rozwój energetyki jądrowej w krajach ościennych, leżących w regionie Europy Środkowo-Wschodniej. Dokonano przeglądu

polskiego programu rządowego dotyczącego budowy jądrowych bloków energetycznych w Polsce. Przedstawiono także najważniejsze problemy sektora energetycznego oraz wpływ energetyki jądrowej na środowisko naturalne. W artykułach na czoło wysuwa się pytanie: kiedy powstanie elektrownia jądrowa? Autorzy chcą zwrócić większą uwagę na program zawarty w PPEJ, jego kontynuację, podtrzymywanie zainteresowania energetyką jądrową, i zajęcie się kolejnymi istotnymi kwestiami w miarę ich pojawiania się oraz wspieranie tych prac poprzez, chociażby udostępnianie informacji.

Sylwester Sommer, Prezes Warszawskiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych donosi o ważnym wydarzeniu.

W dniach 17-18 września 2019 r., w Kielcach, odbędzie się symposium satelitarne XVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych im. Marii Skłodowskiej-Curie (Kielce 16-19 września 2019 r., <http://ptbr.org.pl/index.php/xviii-zjazd-ptbr.html>) dotyczące niskich dawek promieniowania w medycynie: „Applications of low radiation doses in medical diagnosis and the-rapy”, współorganizowane przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Świerku. W trakcie Symposium przewidziane są wystąpienia znamienitych ekspertów z Polski i zagranicy.

Spśród kilku doniesień przygotowanych przez dr. W. Głuszewskiego warto wymienić informację o monografii zatytułowanej „Innowacje dla energii i nie tylko. Zaawansowane materiały polimerowe dla energetyki i innych dziedzin wspomagane technologiami radiacyjnymi”, która została zaprezentowana na jubileuszowym XXV Sympozjum Technicznym PLASTECH. Sympozjum odbyło się w krzyżackim zamku w Gniewie. Podczas sympozjum Wojciech Głuszewski podsumował w wykładzie „Zaawansowane materiały polimerowe modyfikowane radiacyjnie” wyniki szkolenia na temat zastosowania promieniowania jonizującego do korzystnych zmian właściwości polimerów, które odbyło się pod koniec zeszłego roku w IChTJ.

Wśród doniesień ze świata znajdują Państwo informację o tym, że w dniu 25 marca 2019 r. została otwarta na terenie Laboratorium Reakcji Jądrowych Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnie Aleja im. Profesora Andrzeja Hryniewicza. Aleja ta znajduje się w reprezentacyjnym miejscu pomiędzy budynkiem Dyrekcji Laboratorium a Fabryką Supercząstek Pierwiastków. Autorem tej inicjatywy był prof. Jurij Oganesjan – lider zespołu IZB syntetyzującego superciężkie pierwiastki.

Inna ciekawa informacja dotyczy współpracy IChTJ z Texas A&M University, czyli Texas Agricultural and Mechanical University, zwany A&M albo TAMU. Uniwersytet ten to flagowy uniwersytet systemu uniwersytetów w Teksasie. W ostatnim czasie serię wykładów na tym uniwersytecie wygłosił prof. Andrzej Chmielewski. Bliższą informację o tym wydarzeniu publikujemy, począwszy od strony 43.

W kwietniu we włoskim regionie Emilia Romagna, w Forlì, Imoli i Bolonii odbyły się spotkania poświęcone Marii Skłodowskiej-Curie, Mikołajowi Kopernikowi oraz żołnierzom II Korpusu Armii Andersa zorganizowane przez kilka stowarzyszeń włoskich współpracujących ze Związkiem Polaków w Kalabrii. Uczestniczyła w nich autorka doniesienia o tych spotkaniach – i stała współpracowniczką PTJ Małgorzata Sobieszczak-Marciniak, która reprezentowała we Włoszech Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie.

Na ostatnich stronach kwartalnika piszemy, między innymi, o prezentacji raportu pt.: „US Nuclear Energy Leadership: Innovation and the Strategic Global Challenge”. W wydarzeniu wzięli udział przedstawiciele amerykańskiej administracji (Departament Stanu i Departament Energii), sektora energetycznego, środowisk akademickich, think tanków, prasy oraz placówek dyplomatycznych (Japonia, Kanada, Chi-ny, Rumunia, Finlandia i Polska).

Zamieszczamy także informacje o ważnej deklaracji stowarzyszeń naukowych i innych organizacji technicznych działających na rzecz rozwoju i pokojowego wykorzystania technologii jądrowych, o wizycie Premiera Mateusza Morawieckiego w NCBJ, III Kongresie Elektryki Polskiej i o udziale IChTJ w tegorocznym Pikniku Naukowym i Nocy Muzeów.

Jak w niemal każdym numerze naszego czasopisma publikujemy informacje/wspomnienia o Zmarłych, członkach naszej „atomistycznej” społeczności.

Zachęcam naszych Czytelników do obejrzenia ciekawych okładek PTJ. Kończę ten Wstępniak życzeniami, aby tegoroczne lato nie było zbyt gorące, bo to oznacza wyraźną obecność efektu cieplarnianego. I życzę Państwu udanego wypoczynku podczas urlopów.

Stanisław Latek,
redaktor naczelny

JAK TO Z „ŻARNOWCEM” BYŁO – REFLEKSJA 30 LAT PO WSTRZYMANIU BUDOWY

Część I: Od początków do wstrzymania budowy

How it happened with “Żarnowiec” – a reflection in 30 years after construction stoppage.

Part I – since the very beginning till construction halting

Władysław Kiełbasa

Streszczenie: W artykule (podzielonym na dwie części) przedstawiono historię Elektrowni Jądrowej (EJ) „Żarnowiec”:

- **W części I** (lata 1971-1989) – od przygotowania tej inwestycji, poprzez budowę, początki przygotowania rozruchu i eksploatacji, aż do wstrzymania budowy;
- **W części II** (lata 1989-2006) – analizy techniczne i ekonomiczne przedsięwzięcia, powstanie decyzji rządowej o zaniechaniu tej budowy, likwidacja budowy (porzucenie bez rozbiórki rozpoczętych obiektów i uporządkowania terenu), oraz dalsze działania i zdarzenia do czasu ponownego podjęcia przez polski Rząd pomysłu powrotu do energetyki jądrowej.

Historię tę pokazano na tle sytuacji gospodarczej, społecznej i politycznej w Polsce, z uwzględnieniem także aspektów międzynarodowych, które miały wpływ na losy tej inwestycji. Szczególną uwagę poświęcono znaczeniu, jakie dla podjęcia decyzji o zaniechaniu kontynuacji budowy EJ „Żarnowiec” miała katastrofalna awaria czarnobylska, której skutki radiacyjne dotknęły także społeczeństwo polskie. Ponadto, omówiono zwięźle także historię komercyjnego wprowadzenia w krajach europejskich i w b. ZSRR radzieckich reaktorów WWER-440 modelu W-213, wyposażonych w układy bezpieczeństwa zaprojektowane, zgodnie ze światową praktyką, na warunki granicznej (maksymalnej) awarii projektowej (MAP), zapoczątkowanej rozerwaniem głównego rurociągu obiegu pierwotnego reaktora (LB LOCA¹).

Abstract: In the article (divided into two parts) the history of the Żarnowiec Nuclear Power Plant has been presented:

- **In Part I** (years 1971-1989) – since the early project development phase, through plant construction, beginning of preparations for commissioning and operation, till plant construction stoppage;
- **In Part II** (years 1989-2006) – project technical and economic analyses, development process of the governmental decision on cancellation of the project, construction site “liquidation” (abandoning the construction site without dismantling the partly constructed facilities and no remediation work), and further actions and events till resuming by the Polish Government an idea of returning to nuclear power.

That history has been shown on the background of the economic, social and political situation in Poland, while considering also the international context and aspects having bearing on the destiny of this project. A particular attention has been also given to the significance of the Chernobyl disaster, radiological consequences of which have affected the Polish general public, for the subsequent decision on discontinuation of the Żarnowiec NPP project. Moreover, the history of commercial introduction to European countries and the former Soviet Union the new Soviet-designed power reactors VVER-440, model V-213, that were equipped with engineered safety features designed, in accordance with common international practice, to cope with a bounding (maximal) design basis accident initiated by the main reactor coolant system pipe break (LB LOCA), has been outlined.

Słowa kluczowe: Elektrownia Jądrowa Żarnowiec, EJ Żarnowiec, Czarnobyl, profilaktyka jodowa tarczycy, Ministerstwo Przemysłu, MAEA, Siemens, Belgatom, Tractebel, Komisja Wspólnot Europejskich, maksymalna awaria projektowa, LB LOCA, ciężka awaria, likwidacja przedsięwzięcia

Key words: Żarnowiec Nuclear Power Plant, Żarnowiec NPP, Czarnobyl, iodine thyroid prophylaxis, Ministry of Industry, IAEA, Siemens, Belgatom, Tractebel, Commission of European Communities, bounding design basis accident, LB LOCA, severe accident, project cancellation

Wiele osób, zwłaszcza młodszych, pytało mnie, dlaczego budowa Elektrowni Jądrowej (EJ) w „Żarnowcu”² została zaniechana? Nie jest możliwe udzielenie

zwięzłej, a jednocześnie poprawnej, odpowiedzi na takie pytanie. Najprościej i najkrócej jest powiedzieć: z powodów politycznych, lecz taka odpowiedź niewiele wyjaśnia, choć ogólnie jest ona prawdziwa.

Pełniejsza odpowiedź wymaga bowiem odniesienia się do okoliczności i uwarunkowań, które doprowa-

¹ Large Break Loss-Of-Coolant-Accident.

² W rzeczywistości nie w Żarnowcu, lecz nad pld.-wsch. brzegiem Jeziora Żarnowieckiego.

dziły do podjęcia przez polityków takiej właśnie decyzji oraz wyjaśnienia ich motywacji. Próbę udzielenia pełniejszej odpowiedzi na to pytanie podjąłem już w 1991 r., wówczas gdy na prośbę Zarządu PTN opracowałem obszerną informację opisującą społeczno-polityczno-gospodarcze tło tej decyzji i chocholi taniec ówczesnych polityków wokół problemu „Żarnowca”. Skrót tej informacji został opublikowany w Biuletynie nr 15 (40) NSZZ „Solidarność” Instytutów Atomistyki w Świerku, z dnia 21.10.1991 r., w postaci artykułu pt. „Żarnowiec. Jak powstała decyzja rządowa”. Po wielu latach mój pogląd na ten temat zmienił się nieco w tym sensie, że obecnie uważam, iż skutki katastrofalnej awarii w Czarnobylu miały znacznie większy wpływ na decyzje w sprawie przyszłości „Żarnowca” niż sądziłem wówczas. Wydaje mi się teraz, że efekt Czarnobyla był nawet najważniejszy. Dlatego też pozwoliłem sobie sparafrazować tu tytuł artykułu prof. Zbigniewa Jaworowskiego „Jak to z Czarnobyłem było”, opublikowanego w tygodniku „Wiedza i Życie” nr 5/1996 (mam nadzieję, że Profesor nie miałby mi tego za złe...).

Mam nadzieję, że zrozumienie tych okoliczności, uwarunkowań i motywacji polityków ułatwi Szanownym Czytelnikom poniższe kalendarium zdarzeń ze związłymi ich opisami, w którym przedstawiłem działania i zdarzenia związane z przygotowaniem i realizacją przedsięwzięcia EJ „Żarnowiec” na tle zdarzeń i uwarunkowań zewnętrznych mających (niekiedy przemożny) wpływ na to przedsięwzięcie i jego losy. Chciałbym też, aby ten mój tekst przyczynił się do odkłamania wielu kłamstw i manipulacji oraz obalenia mitów jakie narosły wokół EJ „Żarnowiec”, przebiegu jej budowy i przyczyn zaniechania.

Wprowadzenie nowego radzieckiego modelu reaktora wodno-ciśnieniowego WWER-440/W-213, z układami bezpieczeństwa zaprojektowanymi na opanowanie i ograniczenie skutków maksymalnej awarii projektowej zapoczątkowanej rozerwaniem rurociągu obiegu chłodzenia reaktora o max. średnicy.

09.05.1977 r.: przekazanie do eksploatacji pierwszego bloku energetycznego z reaktorem tego modelu w **EJ Loviisa** (Finlandia), właściciel i eksplorator: Imatran Voima Oy (IVO). Drugi blok przekazano do eksploatacji 05.01.1981 r. EJ Loviisa to przykład bardzo udanego mariażu radzieckiej i zachodniej technologii. Radzieckiej konstrukcji i dostawy są: jądrowy układ wytwarzania pary, układy awaryjnego chłodzenia rdzenia i inne układy/urządzenia bezpieczeństwa lub istotne dla bezpieczeństwa, turbozespoły z urządzeniami pomocniczymi, oraz inne wyposażenie technologiczne. Natomiast obudowa bezpieczeństwa reaktora w kształcie walca z kopułą, wyposażona w kondensator lodowy zmniejszający ciśnienie awaryjne, została zaprojektowana i zrealizowana przez amerykańską firmę Westinghouse, a systemy pomiarów i sterowania przez niemiecką firmę Siemens KWU³.



Fot. 1. Widok na EJ Loviisa (Finlandia), skan pocztówki wydanej przez IVO
Photo 1. A view of the Loviisa NPP (Finland), IVO-published postcard scanned

09.1981 r.: przyłączenie do sieci w **EJ Równe** (b. ZSRR, obecnie Ukraina) pierwszego bloku WWER-440/W-213, z obudową bezpieczeństwa wyposażoną w tzw. wieżę lokalizacji awarii (WLA), z wodnym kondensatorem barbotażowym (rozwiązanie projektowe: dwa budynki reaktorów na wspólnej płycie fundamentowej); drugi blok tej elektrowni przyłączono do sieci w 07.1982 r.

Następne **zrealizowane bloki** z reaktorami modelu WWER-440/W-213 to:

- **EJ Kola** (b. ZSRR, Federacja Rosyjska), przekazanie do próbnej eksploatacji: 3-blok – 12.1982 r., 4-blok – 12.1984 r.
- **EJ Bohunice** (b. Czechosłowacja, obecnie Słowacja), rozpoczęcie budowy w 1976 r., wprowadzenie do stałej eksploatacji: 3-blok - 14.02.1985 r., 4-blok 18.12.1985 r.
- **EJ Paks** (Węgry), rozpoczęcie budowy – 08.1974 r., wprowadzenie do stałej eksploatacji kolejnych czterech bloków: 10.08.1983 r., 14.11.1984 r., 01.12.1988 r., 01.11.1987 r.
- **EJ Dukovany** (b. Czechosłowacja, obecnie Czechy), roboty przygotowawcze – 1974 r., wprowadzenie do stałej eksploatacji kolejnych czterech bloków: 11.1985 r., 09.1986 r., 06.1987 r., 01.1988 r.
- **EJ Mohovce** (b. Czechosłowacja, obecnie Słowacja): rozpoczęcie budowy bloków 1 i 2 **w listopadzie 1982 r.**, a bloków 3 i 4 w 1987 r. W 1991 r. budowa wszystkich czterech bloków została zawieszona z powodu braku funduszy (przy zaawansowaniu 1 blok – ok. 70%, 2 blok – ok. 30%). **W 1996 r. została wznowiona budowa bloków 1 i 2, które zostały oddane do eksploatacji odpowiednio w latach 1998 i 2000.** Co więcej, **Słowacy utrzymali w dobrym stanie wyposażenie technologiczne dla dwóch pozostałych bloków i ich budowa** (po wprowadzeniu modyfikacji projektu m.in. w celu podwyższenia bezpieczeństwa) **została wznowio-**

³ Kraftwerk Union AG.

na w listopadzie 2008 r.! W kwietniu 2019 r. zostały zakończone kompleksowe próby bloku 3 na gorąco i blok ten jest gotowy do rozpoczęcia jądrowego etapu rozruchu, tj. rozruchu fizycznego reaktora, którego początkiem jest załadunek paliwa jądrowego do rdzenia (zaawansowanie prac 98,8%). Natomiast zaawansowanie prac na 4 bloku przekraczało w maju 2019 r. 87%. Realizacja **EJ Mochovce** (jej początkowa faza) i **EJ Żarnowiec** przebiegały praktycznie **w tym samym czasie**, chociaż „Mochovce” wkrótce wyprzedziły „Żarnowiec”, bo stan gospodarki czechosłowackiej był znacznie lepszy niż gospodarki PRL. W przeciwieństwie do polskiego „Żarnowca” **Słowacy nie zmarnowali inwestycji w Mochovcach**, pomimo rozlicznych trudności w okresie przełomu politycznego i zmian gospodarczych na początku lat 90. ubiegłego wieku.



Fot. 2. Widok na EJ Mochovce (Słowacja)

Photo 2. A view of the Mochovce NPP (Slovakia; <https://www.seas.sk/mochovce-nuclear-power-plant>)

Zaniechane budowy bloków z reaktorami modelu WWER-440/W-213:

- **EJ Nord / Greifswald** (b. NRD, Niemcy, Meklemburgia – Pomorze Przednie), 4 bloki (5-8): realizację bloków 5 i 6 rozpoczęto w grudniu 1976 r., prace budowlane przy 5. bloku zakończono w kwietniu 1989 r., 1.11.1989 r. blok ten włączono do próbnej eksploatacji, lecz 29.11.1989 r. został on wyłączony (jak się później okazało na stałe). Zostały także zakończone prace budowlane na bloku 6., który jednak nie został uruchomiony. Następnie, po zjednoczeniu Niemiec, najpierw (w 1990 r.) wyłączono z eksploatacji starsze bloki 1-4 z reaktorami WWER-440/W-230, a następnie (w 1991 r.) zaniechano kontynuacji prac przy blokach, a także przy blokach 5-8 z reaktorami WWER-440/W-213. Powodem tej decyzji była ocena, że modernizacje w celu podwyższenia bezpieczeństwa (dotyczyło to zwłaszcza starszych bloków z reaktorami WWER-440/W-230) tej elektrowni byłyby zbyt kosztowne. Przewidywano wówczas, że na terenach byłego NRD zostanie wybudowana przez Siemens nowa EJ z nowoczesnymi blokami PWR model Konvoi, co jednak nie nastąpiło. Aktualnie trwa demontaż elektrowni Nord/Greifswald.



Fot. 3. Widok na EJ Greifswald (b. NRD, Niemcy, Meklemburgia – Pomorze Przednie)

Photo 3. A view of the Greifswald NPP (f. GDR, Germany, Mecklenburg-Vorpommern; <https://www.nuklearesicherheit.de/en/nuclear-facilities/nuclear-power-plants-in-germany/nuclear-power-plant-greifswald/>)

- **EJ Żarnowiec:** miały zostać wybudowane 4 bloki energetyczne z reaktorami modelu WWER-440/W-213, w dwóch etapach budowy (I etap – bloki 1 i 2: 2x465 MWe, II etap – bloki 3 i 4: 2x465 MWe). Przy tym w „Żarnowcu” miał być zastosowany **układ monoblokowy** (tj. jeden turbozespół na reaktor, w odróżnieniu od typowego układu radzieckiego duo-blokowego: 2 turbozespoły na reaktor). **Całą część konwencjonalna elektrowni była projektowana w Polsce** (przez krajowe „Energoprojekt”, głównie warszawski), zaś **dostawy wyposażenia technologicznego w ogromnej większości były realizowane przez polski przemysł**. W szczególności: turbozespoły przez ZAMECH Elbląg i DOLMEL Wrocław, transformatory blokowe przez ELTA Łódź, awaryjna siłownia dieslowa przez ZUT „Zgoda” Świętochłowice, duże pompy przez Warszawską i Leszczyńską Fabryki Pomp, urządzenia wentylacyjne przez MAWENT Malbork, armaturę przez CHEMAR Kielce, itd). Część jądrowa elektrowni była natomiast projektowana przez radzieckie biuro projektów ŁO-ATEP Leningrad, w ścisłej współpracy z „Energoprojektem” i Inwestorem. **Istotną część wyposażenia technologicznego także dla części jądrowej elektrowni miał dostarczyć polski przemysł**. W szczególności: RAFAKO Racibórz – stabilizatory ciśnienia i wytwornice pary (dla II etapu), METALCHEM Opole – zbiorniki biernego układu awaryjnego chłodzenia reaktora, zbiorniki roztworu kwasu borowego, FAKOP Sosnowiec – wymienniki ciepła, ZZUJ POLON system pomiarów wewnątrz-reaktorowych „Hinduskus” i system kontroli dozymetrycznej „Sejwał”, i in. Ogólnie dostawy wyposażenia do części jądrowej realizowało wiele krajów RWPG⁴, zgodnie z umową o specjalizacji produkcji i dostawach wyposażenia dla EJ. W b. Czechosłowacji produkowane były reaktory (Škoda Pilzno), wytwornice pary (Zakłady Vitkovice) i bloki montażowe pętli obiegu chłodze-

⁴ Rada Wzajemnej Pomocy Gospodarczej.

nia reaktora, a z dużych urządzeń w ZSRR produkowane były jedynie główne pompy cyrkulacyjne. Dzięki zastosowaniu turbozespołów o sprawności wyższej od radzieckich, skonstruowanych w oparciu o wiedzę licencyjną szwajcarskiej firmy BBC (następnie koncernu ABB), moc elektryczna brutto bloku została zwiększona o ok. 5,7%, z 440 MWe do **465 MWe**. Ponadto, ciepło z bloków II etapu miało być wykorzystane także do celów ciepłowniczych – ogrzewania Trójmiasta, w tym celu skonstruowano turbozespoły upustowo-kondensacyjne i zaprojektowano duży węzeł ciepłowniczy.



Fot. 4. Makietę I etapu EJ „Żarnowiec”
Photo 4. Mock-up of the Żarnowiec NPP

Decyzja o rozpoczęciu budowy EJ „Żarnowiec” została podjęta przez Rząd PRL **18.01.1982 r. (nieco ponad miesiąc od wprowadzenia stanu wojennego)**, a prace na budowie (roboty ziemne) rozpoczęto **01.04.1982 r.** Decyzja rządowa dotyczyła faktycznie rozpoczęcia budowy I etapu (2x465 MWe), a formalna decyzja o rozpoczęciu budowy II etapu nigdy nie została podjęta⁵. W dniu **11.11.1985 r.** Inwestor (Elektrownia Jądrowa „Żarnowiec” w budowie). **Decyzję o zaniechaniu budowy** (przy zaawansowaniu szacowanym na **ok. 40%**) podjął natomiast nowy, „solidarnościowy” Rząd Polski (Tadeusza Mazowieckiego) **04.09.1990 r.** Decyzja ta – o ciężkich skutkach ekonomicznych i społecznych – została podjęta pomimo zainteresowania i deklaracji wsparcia firm i instytucji europejskich (Siemens, EDF, IVO Engineering, Komisja Wspólnot Europejskich) i amerykańskich (Westinghouse, rząd USA). Niestety ówczesny polski Rząd nie wykazywał chęci poszukiwania pozytywnego rozwiązania.

W efekcie tej decyzji **budowa EJ Żarnowiec faktycznie została porzucona**, gdyż poza rozbiórką (sprzedanych na złom) konstrukcji stalowej budynków maszynowni, centralnego warsztatu remontowego i wiaty środków transportu, oraz wykładzin stalowych ścian i drzwi osłonowych w budynkach reaktorów, nie wykonano żadnych innych prac rozbiórkowych przy głównych obiektach I etapu budowy elektrowni, a także nie uporządkowano terenu. Likwidacja budowy sprowadzała się więc tylko do

wyprzedaży materiałów i urządzeń oraz terenów budowy (oczywiście oprócz rejonu głównych obiektów), w szczególności tych z obszernymi obiektami zaplecza.



Fot. 5. Widok na obiekty porzuconej budowy I etapu EJ „Żarnowiec” (fot. NCBJ, dzięki uprzejmości Pomorskiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej)
Photo 5. A view of the facilities of the abandoned Żarnowiec NPP 1st construction stage. Photo by NCBJ, by courtesy of Pomorska Specjalna Strefa Ekonomiczna



Fot. 6. Widok od strony południowej na porzucone obiekty I etapu EJ Żarnowiec (fot. Władysław Kielbasa)
Photo 6. A southern view of the facilities of the abandoned Żarnowiec NPP 1st construction stage. Photo by W. Kielbasa

Oprócz tego zaniechano budowę 2. bloków z reaktorami modelu WWER-440/W-318 w **EJ Juragua na Kubie** (dla tego modelu reaktora zaprojektowano obudowę bezpieczeństwa w postaci cylindra z kopułą). Realizację EJ Juragua rozpoczęto w **1983 r.**, a (z powodu braku środków finansowych) zawieszono w roku 1992 r. przy zaawansowaniu: 1 blok – 90-97% robót budowlano-montażowych, 37% montaż elementów reaktora; 2 blok – ok. 20-30% robót budowlano-montażowych. W roku 1995 podejmowano próby wznowienia budowy, lecz w **1997 r.** ogłoszono jej **wstrzymanie na czas nieokreślony**. Powodem był w tym przypadku oczywiście kryzys ekonomiczny i rozpad ZSRR.



Fot. 7. Widok na 1 blok EJ Juragua na Kubie (porzucona budowa)
Photo 7. A view of the Juragua NPP 1st unit on Cuba (abandoned construction);
<http://www.thebohemianblog.com/2014/08/cuba-abandoned-unfinished-soviet-nuclear-power-station.html>

⁵ Dla 3. i 4. bloku jedynie zamówiono urządzenia o długim cyklu budowy (w szczególności reaktory) i wykonano wykopy pod budynki reaktorów i centralną pompownię.

18.01.1982 r.: Uchwała Nr 10/82 Rady Ministrów PRL (Rządu kierowanego przez gen. Wojciecha Jaruzelskiego) w sprawie realizacji budowy I etapu EJ Żarnowiec obejmującego 2 bloki energetyczne o mocy 465 MW każdy. Uruchomienie pierwszego bloku miało nastąpić w 1989 r., a drugiego w 1990 r. Decyzja ta była dla nas, zajmujących się przygotowaniem budowy EJ „Żarnowiec”, dużym zaskoczeniem, zważywszy na fatalną sytuację społeczno-polityczną w kraju i decyzję o rozwiązaniu naszego Zespołu sprzed niespełna czterech tygodni. Jednocześnie Rząd PRL podjął także decyzję o rozpoczęciu budowy metra w Warszawie.

27.02.1982 r.: utworzenie na mocy ustawy sejmowej **Państwowej Agencji Atomistyki (PAA)**; na Prezesa PAA powołano dra Mieczysława Sowińskiego, byłego wicedyrektora Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej k. Moskwy.

20.03.1982 r.: **wstępne pozwolenie na budowę** – w zakresie robót ziemnych i przygotowania placu budowy dla urządzeń i obiektów Elektrowni Jądrowej „Żarnowiec” (decyzja Wojewódzkiego Zarządu Gospodarki Przestrzennej w Gdańsku Nr ZGP-II-440/P/44/4/82).

31.03.1982 r.: przekazanie placu budowy wykonawcy BPBEiP „Energoblok-Wybrzeże” z Gdyni, **rozpoczęcie robót ziemnych na placu budowy 01.04.1982 r.**

14.04.1982 r.: nowa umowa między Rządem PRL a Rządem ZSRR o współpracy w budowie w PRL Elektrowni Jądrowej „Żarnowiec”.

01.06.1982 r.: powołanie Państwowego Przedsiębiorstwa „Elektrownia Jądrowa »Żarnowiec« w budowie”.

13.12.1982 r.: **rozwiązanie Instytutu Badań Jądrowych w Świerku (IBJ)** i jego podział na trzy Instytuty: Energii Atomowej, Problemów Jądrowych, oraz Chemii i Techniki Jądrowej; ta represyjna reorganizacja miała głównie na celu rozprawienie się z silną w IBJ opozycją „solidarnościową” i przeprowadzenie czystek kadrowych. W efekcie niektórzy zwolnieni wówczas z pracy i represjonowani pracownicy IBJ, którzy nie potrafili dla dobra sprawy wznieść się ponad swoje krzywdy i urazy (m.in. dr Mirosław Dakowski i dr Andrzej Wierusz) będą w przyszłości z pasją i nierzadko demagogicznie zwalczać budowę EJ „Żarnowiec” jako obiekt zrodzony w stanie wojennym i będący emanacją sowieckiej dominacji, przestarzały technicznie i niebezpieczny.

14.04.1983 r.: kolejna umowa między Rządem PRL a Rządem ZSRR o współpracy w budowie w PRL Elektrowni Jądrowej „Żarnowiec”.

I połowa 1983 r.: aktualizacja ZTE I etapu budowy (z uwzględnieniem inflacji), **koszt 110 mld zł.**

20.05.1983 r.: oficjalne przekazanie do eksploatacji **Elektrowni Szczytowo-Pompowej (ESP) „Żarnowiec”,** o mocy osiągalnej w ruchu turbinowym 716 MW, a po borze mocy w ruchu pompowym 800 MW; ze sztucznym zbiornikiem górnym o pojemności energetycznej 3600 MWh. W założeniach ESP „Żarnowiec” miała być, wraz z elektrownią jądrową, elementem węzła energetycznego „Żarnowiec”.

31.12.1983 r.: Uchwała Nr 206/83 Rady Ministrów PRL o oddaniu do eksploatacji bloków Nr 1 (grudzień 1990 r.) i Nr 2 (grudzień 1991 r.).

03.02.1984 r.: **powołanie** decyzją Prezesa PAA **dozoru jądrowego (DJ)** sprawowanego przez Zespół Pełnomocnika Prezesa PAA ds. Bezpieczeństwa Jądrowego, na stanowisko Pełnomocnika Prezesa PAA ds. Bezpieczeństwa Jądrowego, jako Głównego Inspektora Dozoru Jądrowego, powołano doc. Wacława Dąbka, b. wicedyrektora IBJ. Pełnomocnik Prezesa PAA ds. Bezpieczeństwa Jądrowego wydał następnie kilka wytycznych dozorowych.

październik 1984 r.: **rozpoczęcie robót budowlanych przy głównych budynkach elektrowni** (budynek reaktorów z wieżami lokalizacji awarii i nawami urządzeń elektrycznych, budynki maszynowni).

10.03.1985 r.: w ZSRR władzę przejmuje Michał Gorbaczow, który został wybrany na sekretarza generalnego KPZR⁶. Gorbaczow ogłasza swój program polityczny: przebudowa (pierestrojka), jawność (głasność) i przyspieszenie (uskoreniye); twardy sowiecki system zaczyna kruszeć. Choć ta próba zreformowania systemu komunistycznego ostatecznie skończyła się rozpadem ZSRR (w 1991 r.), to my odczuliśmy pozytywne efekty tych zmian politycznych w ZSRR. Była to **znacznie większa otwartość** w kontaktach z rosyjskimi projektantami i organizacjami oraz ich **skłonność do wprowadzania modyfikacji** projektu EJ „Żarnowiec”, w szczególności z uwzględnieniem wniosków z awarii TMI-2 (zresztą sami Rosjanie wystąpili z propozycjami zmian, a było to jeszcze przed awarią w Czarnobylu).

Do maja 1985 r. na budowie:

- zakończenie robót makroniwelacyjnych na placu budowy EJ;
- zakończenie realizacji obiektów zaplecza budowy;
- wykonanie odwodnień terenu i wykopów oraz większej części instalacji podziemnych;
- przy budynku reaktorów I i II bloku wykonano:
 - wykop fundamentowy z odwodnieniem,
 - zagęszczenie gruntu i utwardzenie podłoża pod płytę fundamentową,
 - izolację hydrotechniczną płyty fundamentowej.

1985 r.: rozpoczęto prace nad opracowaniem raportu bezpieczeństwa dla II etapu EJ „Żarnowiec”, koordynowane przez BSiPE „Energoprojekt” Warszawa – w oparciu o materiały i dane radzieckie oraz analizy bezpieczeństwa wykonywane przez polskie ośrodki naukowo-badawcze (IEA, CLOR, PW, PG, IASE, IEn), przy współudziale specjalistów Inwestora EJ „Żarnowiec”.

11.03.1985 r.: Uchwała Nr 29/85 Rady Ministrów PRL w sprawie rozwoju energetyki jądrowej w Polsce do 2000 r.

Czerwiec 1985 r.: kolejna weryfikacja ZTE, **koszt 145 mld zł** (w cenach roku 1984)⁷.

⁶ Komunistyczna Partia Związku Radzieckiego.

⁷ GBSiPE Energoprojekt Warszawa: Elektrownia Jądrowa Żarnowiec. Etap I – 2 x 440 MW. Aktualizacja. Założenia techniczno-ekonomiczne.

Maj 1985 r.: wmurowanie aktu erekcyjnego pod płytę fundamentową, z udziałem ówczesnego Ministra Górnictwa i Energetyki gen. Czesława Piotrowskiego.

Do późnej jesieni 1985 r.: roboty zbrojarskie i montaż rurociągów kanalizacji aktywnej w obrębie płyty fundamentowej budynku reaktorów.

11.11.1985 r.: Inwestor otrzymuje od Prezesa PAA **zezwolenie na budowę I etapu EJ „Żarnowiec”**, z punktu widzenia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Zezwolenie to umożliwiło rozpoczęcie betonowania płyty fundamentowej budynku reaktorów 1 i 2 bloku.

22.11.1985 r.: kontrakt Nr 05-423/31001 zawarty pomiędzy PTHZ „Elektrim” i „Atomeneregoeksport” Moskwa na opracowanie materiałów do ZTE II-etapu EJ Żarnowiec.

10.12.1985 r.: **rozpoczęcie betonowania płyty fundamentowej budynku reaktorów 1 i 2 bloku** (roboty betoniarskie realizowane były etapami określonymi w technologii budowy i zostały zakończone dopiero w dniu 09.11.1987 r.).

26.04.1986 r.: uchwalenie przez Sejm ustawy „**Prawo atomowe**”, porządkującej szereg aspektów formalnoprawnych związanych z pokojowym wykorzystaniem energii atomowej w Polsce.

26.04.1986 r.: **katastrofalna awaria i pożar reaktora 4 bloku Czarnonobyłskiej EJ** (b. ZSRR, Ukraina), z reaktorem RBMK (kanałowym, z moderatorem grafitowym, chłodzonym lekką wodą, bez obudowy bezpieczeństwa).

29.04.1986 r.: Powołanie „Komisji Rządowej do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych” pod przewodnictwem wicepremiera Rządu PRL Zbigniewa Szajałdy. W skład tej komisji jako ekspert został powołany **prof. Zbigniew Jaworowski**, ówczesny szef Zakładu Medycyny Radiacyjnej w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Prof. Jaworowski tak wspominał ówczesne działania informacyjne władz PRL⁸ po tej awarii:

„Polityka informacyjna, którą władze stosowały w pierwszych dwóch dniach, była błędna”. [...] „28 kwietnia nie było jej wcale, ponieważ rząd dowiedział się o skażeniach w Polsce zbyt późno. Ostatnie dzienniki radiowe i telewizyjne przekazały jedynie krótką informację agencyjną o wypadku w Czarnobylu”⁹.

Tego samego dnia prof. Zbigniew Jaworowski wraz z dr. Krzysztofem Żarnowieckim przygotowali dokładną informację na temat skażeń w Polsce, która miała być pierwszym oficjalnym komunikatem Komisji Rządowej ds. Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych. Władze przyjęły tekst, jednak później został on całkowicie zmieniony przez Wydział Prasy Komitetu Centralnego PZPR i rzecznika prasowego rządu.

„W efekcie 30 kwietnia publiczność znowu dowiedziała się, że radioaktywny jod »lata« w obłoku gdzieś wysoko nad Polską. Ponadto podano kłamliwą informację, że nastąpiło jedynie podwyższenie stężenia aktywnego jodu w powietrzu [...], stwierdza się spadkową tendencję poziomu stężenia i że nie stwierdzono podwyższenia stężenia innych pierwiastków”¹⁰.

Naukowcy z Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej stanowczo zaprotestowali, gdyż kłamstwo o niestwierdzeniu podwyższenia stężenia innych pierwiastków było wręcz kompromitujące. Po tych słowach przewodniczący Komisji Rządowej, wicepremier Zbigniew Szajałda, zapewnił, że manipulacja informacją już się nie powtórzy. Władze przejęły się więc sugestią prof. Zbigniewa Jaworowskiego, że przez tego typu kłamstwa Polska przestanie być wiarygodna w oczach zagranicznych kontrahentów i konsumentów, i poniesie setki milionów dolarów strat na eksporcie żywności.

Od tego momentu, wszystkie kolejne informacje prasowe, które publikowały polskie władze, były zgodne z rzeczywistością. Prof. Jaworowski w swoim artykule wspominał tu m.in. o publikacji „Expressu Wieczornego” z dnia 5 maja 1986 r. Był to komunikat Komisji Rządowej wraz ze szczegółową tabelą średnich skażeń w kraju. *„Tego rodzaju informacja była unikatem w prasie światowej i została potem uznana przez ekspertów amerykańskiej Food and Drug Administration za najbardziej przejrzystą i pożyteczną spośród wielu”¹¹.*

W artykule, który ukazał się w magazynie „Świat Nauki. Scientific American” w kwietniu 2006 r., prof. Jaworowski napisał, że od pierwszych chwil wokół katastrofy w Czarnobylu zaczęły narastać przerażające mity, a jedną z głównych ról odegrały głodne sensacje media.

„Donoszono o setkach tysięcy ofiar, masowej epidemii nowotworów i straszliwych zmianach genetycznych. Amerykański tabloid »National Inquirer« w jednym z wydań z 1986 roku zamieścił rysunek dwumetrowej wielkości kurczaka rzekomo złapanego koło Czarnobyla przez dzielnych radzieckich uczonych. »The New York Post« już 30 kwietnia 1986 r. podawał na pierwszej stronie: »Masowy grób: 15 000 ciał spychanych buldożerami do nuklearnych dołów«. Czarnobyłskie zgony mnożyły się w mediach jak grzyby po deszczu, a na zdjęciach i w filmach jako ofiar napromieniowania pokazywano nieszczęsne dzieci chore na białaczkę albo dotknięte ciężkimi zaburzeniami rozwojowymi, które można znaleźć w każdym szpitalu. Od tej pory ludzie zaczęli też przypisywać skutkom Czarnobyla nawet banalne choroby, niemające nic wspólnego z promieniowaniem jonizującym” – pisał Profesor.

Prof. Jaworowski zaznaczył, że media uznały wybuch reaktora jądrowego w Czarnobylu za największą katastrofę drugiej połowy XX wieku. Podkreślił przy

zne. Wstępny raport bezpieczeństwa. Warszawa, czerwiec 1985 r., Nr arch. 778 266.

⁸ <https://licznikgeigera.pl/dezinformacja-i-informacja/>

⁹ Zbigniew Jaworowski: „Jak to z Czarnobylem było”. „Wiedza i Życie”, maj 1996 r. <http://archiwum.wiz.pl/1996/96052000.asp>

¹⁰ Ibidem.

¹¹ Ibidem.

tym, że raporty naukowe pokazują, że była to **największa katastrofa psychologiczna**, a wokół niej narosło bardzo wiele mitów. Rewelacje żądnych sensacji mediów i ogólny szum informacyjny na temat tego, co się stało i co się aktualnie dzieje w Czarnobylu oraz spekulacje nt. tego, co się może jeszcze wydarzyć (przy braku jakichkolwiek informacji od władz sowieckich) i jakie to może mieć skutki radiacyjne w krajach, do których dotarły skażenia (zwłaszcza sąsiadujących z Ukrainą), powodowały **narastanie w społeczeństwie niepokoju aż do paniki**.

W sytuacji niepokojących danych o aktualnej sytuacji radiacyjnej w kraju oraz wobec braku informacji o skali awarii i prognoz co do jej dalszego przebiegu, już w pierwszym dniu funkcjonowania (29.04.1986 r. ok. godz. 11:00) Komisja Rządowa oficjalnie zaleciła **podjęcie na dużą skalę akcji profilaktyki jodowej tarczycy**, aby ograniczyć wchłanianie jodu promieniotwórczego.

Prof. Jaworowski tak pisze o tej akcji¹²: „W wyniku akcji jodowej 18,5 mln ludzi przyjęło blokującą dawkę płynu Lugola, w tym ponad 95% dzieci i młodzieży. Była to pierwsza w historii medycyny tak wielka akcja profilaktyczna dokonana w ciągu kilku dni. Rozpoczęto ją po ok. 13 godzinach od powziętej decyzji. Akcja ta dowodzi wysokiej sprawności organizacyjnej i zdolności do improwizacji Polaków. [...] Badania epidemiologiczne (największe, jakie kiedykolwiek przeprowadzono w Polsce) wykonane przez zespół prof. Janusza Naumana z Akademii Medycznej w Warszawie, złożony z najwybitniejszych polskich endokrynologów i radiologów wykazały, że łagodne „zewnątrzczarczycowe” objawy uboczne po podaniu płynu Lugola (mdłości, bóle głowy i swędzenie skóry) pojawiły się w ok. 5% przypadków. U bardzo małych dzieci niekiedy występowały wymioty, prawie zawsze u tych, którym zamiast płynu Lugola podano roztwór jodyny. W żadnej grupie wiekowej nie zaobserwowano ubocznego „wewnątrzczarczycowego” działania profilaktycznych dawek jodu. W badaniach tych, przeprowadzonych w latach 1989-1990, nie stwierdzono zwiększonego występowania nowotworów tarczycy. Badania Instytutu Onkologii nie wykazały do roku 1995 wzrostu nowotworów tarczycy i białaczek”.

Akacja jodowa była więc obiektywnie sukcesem, lecz jej wprowadzenie bynajmniej **nie uspokoiło panicznych nastrojów w społeczeństwie, które po raz pierwszy zostało bezpośrednio dotknięte skutkami radiacyjnymi awarii w elektrowni jądrowej**, a nie było przygotowane na taką sytuację. Panowało powszechne przekonanie, iż nawet najmniejsza dawka promieniowania, bliska zerowej, powoduje powstawanie nowotworów. W panice wykupowano więc z aptek jodynę i wielu także dorosłych ją wypilo.

Wobec braku po Czarnobylu akcji informacyjnej nt. bezpieczeństwa elektrowni jądrowych i skutków zdrowotnych promieniowania jonizującego, prowadzenia, której władze komunistyczne nie uważały

za potrzebne, ten (nieuleczony) **czarnobylski szok w społeczeństwie miał mieć w przyszłości zabójcze konsekwencje dla budowy EJ „Żarnowiec”**.

Chociaż skutki radiacyjne awarii czarnobylskiej w naszym kraju okazały się względnie nieduże¹³, to **społeczeństwo polskie, którego poczucie bezpieczeństwa zostało wówczas silnie naruszone, stało się bardzo podatne na kłamliwą i napastliwą antyjądrową propagandę** prowadzoną później przez przeciwników budowy EJ „Żarnowiec” – różnych demagogów, liczne organizacje nazywające siebie „ekologicznymi”, a także polityków tzw. opozycji demokratycznej w ich agitacji wyborczej, którzy kategorycznie domagali się natychmiastowego zaniechania tej budowy.

20.06.1986 r.: Uchwała Nr 48/87 Rady Ministrów PRL w sprawie zapewnienia realizacji ustaleń i wniosków z raportu Komisji Rządowej do Spraw Oceny Promieniowania Jądrowego i Działań Profilaktycznych.

Lata 1985-1986 i później: radzieckie **propozycje zmian i modernizacji projektu EJ „Żarnowiec”**, formalnie zgłoszone w postaci „referatu w sprawie podwyższenia bezpieczeństwa eksploatacji EJ „Żarnowiec”. Propozycje te w dużej mierze wynikały z wniosków z awarii TMI-2. Zakres tych zmian został następnie znacznie rozszerzony po awarii czarnobylskiej, z uwzględnieniem także propozycji strony polskiej (Rosjanie wykazywali wówczas już bardzo dużą otwartość i elastyczność w przeciwieństwie do okresu przed Czarnobylem).

Lato 1986 r.: pojawiają się pierwsze publikacje przeciwników budowy EJ „Żarnowiec” z Wybrzeża: artykuły w prasie katolickiej („Gwiazda morza”, „Gość niedzielny”, „W drodze”) oraz w formie ulotek (autorzy: dr Jerzy Jaśkowski i prof. Józef Terlecki – AM w Gdańsku, prof. Zygmunt Polański i dr Jerzy Salmonowicz – MIR¹⁴, prof. Gotfryd Kupryszewski i doc. Jerzy Grzywacz – UG, dr Jaśkiewicz – PG).

październik 1986 r.: założenie przez Władysława Dobrowolskiego w Gdańsku Franciszkańskiego Ruchu Ekologicznego (FRE), szczególnie aktywnym działaczem FRE staje się dr Jerzy Jaśkowski z Katedry Fizyki i Biofizyki Akademii Medycznej w Gdańsku, oprócz niego najbardziej aktywnym w organizowaniu różnych akcji protestacyjnych był pan Tomasz Burek.

Lata 1987-1990 – publikacje i akcje przeciwników budowy

Kolejne, coraz częstsze publikacje przeciwników budowy (głównie autorstwa dra J. Jaśkowskiego) w tygodnikach i miesięcznikach jak: „Pomerania”, „Stolica”, „Ład”, „Morze”, „Wprost”, „Aura”, „Przyroda Polska”, „Polityka”, „Orientacje”, „Tygodnik Solidarność”, „Tygodnik Gdański”, „Kobieta i Życie”, „Tygodnik Kulturalny”, a nawet „Przegląd Techniczny”.

¹³ Według ocen UNSCEAR: średnia dawka promieniowania na całe ciało od czarnobylskich radioizotopów w pierwszym roku po awarii wyniosła 0,27 mSv (11% rocznej dawki naturalnej promieniowania), a (dodatkową) dawkę życiową oszacowano na ok. 0,9 mSv (co stanowi ok. 0,5% dawki ze źródeł naturalnych). Znacząco wyższe były dawki na tarczycę od jodu-131.

¹⁴ Morski Instytut Rybacki.

¹² Ibidem.

Szczególnie w atakowaniu „Żarnowca” wstąpił się dr Jerzy Jaśkowski z Akademii Medycznej w Gdańsku i aktywista Franciszkańskiego Ruchu Ekologicznego, który był niezwykle aktywny i skuteczny w rozsiewaniu rozlicznych kłamstw i wymysłów nt. rzekomej szkodliwości tego obiektu obliczonych na straszenie społeczeństwa, w rodzaju takich jak niżej (przytaczam tylko niektóre):

„Znaczna część powietrza (znad EJ »Żarnowiec«) zawierająca duże ilości gazów radioaktywnych, dodatkowo jonizujących powietrze, znajdzie się nad Trójmiastem. Wiadomo, że obecność tych radionuklidów może zwiększyć liczbę zachorowań na nowotwory nawet o 200%!”¹⁵.

„Po uruchomieniu EJ Żarnowiec dojdzie w Gdańsku do wzrostu umieralności na nowotwory o 200%”¹⁶.

„EJ w Żarnowcu będzie emitowała do atmosfery ok. 100 000 Ci substancji promieniotwórczych rocznie, tj. ilość, jaka powstała po wybuchu bomby w Hiroszynie”¹⁷ oraz „... wielkość tego promieniowania jest równa substancji promieniotwórczej, jaka uwolniła się w czasie wybuchu w 1945 r. w Hiroszynie”¹⁸.

„Żarnowiec wyemituje rocznie, przy bezawaryjnej pracy, do atmosfery ok. 100 curie. Jest to promieniowanie rzędu bomby atomowej, którą zrzucono na Hiroszimę.”¹⁹

„Wielkości radionuklidów uwalniane z elektrowni jądrowych na Zachodzie są równe pod względem aktywności ~ 10-100 bombom atomowym zrzuconym na Hiroszimę”²⁰.

„Ilość radionuklidów uwalnianych podczas bezawaryjnej pracy elektrowni jądrowej w ciągu jednego roku stanowi wartość porównywalną z 100 bombami zrzuconymi na Hiroszimę. Należy też zdecydowanie odrzucić twierdzenie, że są to głównie gazy szlachetne, które nie ulegają metabolizmowi w organizmie człowieka. Pierwiastki te posiadają określoną energię, dużo wyższą niż energia wiązań chemicznych, trudno więc zaprzeczyć jej działaniu na komórki. Pierwiastki te powodują także wzrost jonizacji powietrza ze wszystkimi jego negatywnymi następstwami. Oprócz gazów szlachetnych stwierdza się także występowanie trytu, który ulega metabolizmowi, jak również węgla radioaktywnego.”^{21 22}

Ta działalność dra J. Jaśkowskiego, jako nieodpowiedzialna i niegodna pracownika naukowego, została **potępiona przez wybitnych polskich specjalistów** w dziedzinie radiobiologii i ochrony radiologicznej (w tym lekarzy)^{23,24}, oraz **Polskie Towarzystwo Fizyki**

Medycznej²⁵, którzy wykazali jego niekompetencję, tendencyjność i nierzetelność. Niestety, w najmniejszym stopniu nie wpłynęło to jednak negatywnie na jego popularność w prasie i mediach elektronicznych – a co gorsza również nie podważyło jego wiarygodności w opinii społecznej – ani tym bardziej nie zmieniło jego postępowania.

W 1989 r. publikacje przeciwników zaczęły częściej pojawiać się także na łamach prasy codziennej: „Gazeta Wyborcza” i „Gazeta Gdańska”. Po przemianach politycznych szczególnie aktywny na tym polu stał się „Dziennik Bałtycki”, jeden z dwóch (obok „Głosu Wybrzeża”) byłych „organów” KW PZPR w Gdańsku, którego redakcja — umieściła w winiecie napis „niezależne pismo Wybrzeża” i bardzo starała wykazać się ową „niezależnością” atakując EJ „Żarnowiec”. Intensywność tych publikacji stopniowo narastała, osiągając maksymalne nasilenie w okresie od połowy 1989 r. do połowy 1990 r.

Oprócz tego, przeciwnicy – poczynając od rozpoczęcia obrad „okrągłego stołu” – zaczęli coraz częściej występować w państwowych rozgłoszeniach radiowych i w telewizji.

Redakcje na ogół niechętnie zgadzały się na publikacje sprostowań lub polemik zwolenników EJ „Żarnowiec” (częstokroć odmawiały publikacji pod jakimś pretekstem, lub wręcz ignorowały listy polemiczne).

W 1988 r. rusza fala wzmagających się protestów, pikiet i happeningów przeciwko energetyce jądrowej, ich głównym organizatorem był pan Tomasz Burek z Franciszkańskiego Ruchu Ekologicznego.

W latach 1988-1989 przeciwnicy EJ „Żarnowiec” zorganizowali w Gdańskim Towarzystwie Naukowym serię seminariów, podczas których prezentowano potencjalne zagrożenia związane z tą inwestycją oraz wykazywano rzekomą jej nieopłacalność i zbędność.

30.03.1987 r.: Uchwała Nr 48/87 Rady Ministrów w sprawie realizacji budowy EJ „Żarnowiec”.

05.06.1987 r.: akceptacja przez Prezydium Komisji Planowania przy Radzie Ministrów lokalizacji drugiej EJ w miejscowości Klempicz (lokalizacja „Warta”).

17.08.1987 r.: publikacja „Głosu z Żarnowca” jako dodatku do „Głosu Wybrzeża”, była to **pierwsza próba dotarcia do szerszej opinii publicznej** z rzetelnymi informacjami nt. EJ „Żarnowiec” (opracowanymi głównie przez pracowników Inwestora).

Od listopada 1987 r. do lipca 1989 r.: roboty budowlane (po zakończeniu betonowania płyty fundamentowej budynku reaktorów I etapu):

- w rejonie budynku reaktorów: wykonywanie konstrukcji żelbetowych i wykładzin hermetycznych studni obu reaktorów, montaż tzw. bloków

¹⁵ Polityka z 18.03.1989 r.

¹⁶ Morze nr 2/89.

¹⁷ Przyroda Polska nr 3/88, Stolica 6-12.10. 1988, Pomerania nr 4 1988.

¹⁸ Aura nr 2/1988.

¹⁹ „Czas atomu – czas lęku”, Stolica nr 41/1988 z 9.10.1988 r.

²⁰ Polityka nr 11 z 18.03.1989 r.

²¹ Orientacje, s. 85.

²² PAA: Energetyka jądrowa. Polemiki, mity i fakty. Część 3. Warszawa 1989. (oprac.: doc. dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. dr hab. inż. Zdzisław Celiński, dr Henryk Torbicki).

²³ PAA: Energetyka jądrowa. Polemiki, mity i fakty. Część 2. Warszawa 1989. (mgr Jolanta M. Iwanowska, prof. dr hab. med. Julian Liniecki, prof. dr hab. med. Janusz Nauman, doc. dr hab. Zofia Pietrzak-Flis).

²⁴ Czy można ufać ATOMISTOM? Kobieta i Życie. 01.1989 r.

²⁵ Oświadczenie Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej z dnia 24.04.1990 r. wobec opinii rozpowszechnianych przez dra Jerzego Jaśkowskiego, pracownika AM w Gdańsku, nt. stopnia szkodliwości promieniowania jonizującego i zagrożenia stwarzanego dla zdrowia ludzi i środowiska przez energetykę jądrową. Podpisane przez Prezesa ZG PTFM doc. dr hab. Grzegorza Pawlickiego.

przestrzenie zbrojonych i betonowanie ścian i stropów poszczególnych pomieszczeń budynku reaktorów od poziomu -6,00 m do poziomu +6,00 m; roboty wykończeniowe w pomieszczeniach już zabetonowanych;

- w rejonie obu maszynowni: wykonywanie fundamentów budynków maszynowni i turbozespołów, budynki były przygotowane do montażu konstrukcji stalowych;
- inne obiekty: roboty zbrojarskie i betoniarskie przy budynku gospodarki odpadami, kominie wentylacyjnym i centralnej pompowni, roboty hydrotechniczne przy ujęciu i na kanale doprowadzającym wodę chłodzącą.

Nasilają się jednak problemy z finansowaniem, powodujące wyhamowywanie tempa budowy, szczególnie w lecie i na jesieni 1988 r. W ostatnim okresie (zima 1988/89 r. - lato 1989 r.) były praktycznie prowadzone już tylko roboty zabezpieczające. Zatrudnienie na budowie spadło z ok. 6000 osób (w roku 1987) do ok. 1000 osób (w lecie roku 1990).

01.02.1988 r.: Rząd PRL premiera Zbigniewa Messnera wprowadza podwyżkę cen żywności.

26.04.-10.05.1988 r.: pierwsza fala strajków zorganizowana przez podziemną „Solidarność”.

Połowa 1988 r.: pełne uruchomienie i przekazanie do eksploatacji Ośrodka Pomiarów Zewnętrznych EJ „Żarnowiec”.

30.06.1988 r.: Decyzja Ministra Przemysłu zatwierdzająca ZTE II-etapu EJ Żarnowiec.

1988 r.: trzecia i ostatnia aktualizacja ZTE – **koszt I etapu budowy: 155 mld zł.**

19.06.1988 r.: wybory do rad narodowych (najniższa w historii PRL frekwencja 56%).

26.07.1988 r.: rzecznik Rządu PRL Jerzy Urban oświadczył, że „Solidarność” „...trwale należy do przeszłości...”. Jak pokazała bliska przyszłość, mylił się bardzo...

15.08.1988 r.: druga fala strajków zorganizowana przez „Solidarność”, powstają Międzyzakładowe Komitety Strajkowe, ogólny wzrost napięcia politycznego w kraju.

26.08.1988 r.: Minister Spraw Wewnętrznych gen. Czesław Kiszczak proponuje opozycji rozpoczęcie rozmów.

31.08.1988 r.: spotkanie gen. Czesława Kiszczaka z Lechem Wałęsą, z udziałem Stanisława Cioska i bpa Jerzego Dąbrowskiego, powstanie idei zorganizowania obrad „Okrągłego Stołu”.

16.09.1988 r.: pierwsze spotkanie w Magdalence.

19.09.1988 r.: sejmowe wotum nieufności dla rządu Zbigniewa Messnera.

27.09.1988 r.: powołanie nowego Rządu PRL z premierem Mieczysławem F. Rakowskim, Ministrem Przemysłu zostaje Mieczysław Wilczek (zwolennik kontynuowania budowy EJ Żarnowiec i zarazem likwidacji Stoczni Gdańskiej!); Aleksander Kwaśniewski w składzie rządu jako minister kultury fizycznej i sportu oraz przewodniczący Komitetu społeczno-Politycznego RM.

Późna jesień 1988 r.: faktyczne wstrzymanie finansowania budowy – arbitralną decyzją ówczesnego wicepremiera Rządu PRL Ireneusza Sekuły.

01.11.1988 r.: decyzja Rządu premiera Mieczysława F. Rakowskiego o likwidacji Stoczni Gdańskiej, zaostrenie się walki politycznej pomiędzy „władzą” a „Solidarnością”. Decyzja o likwidacji Stoczni Gdańskiej okazała się mieć później bardzo negatywne konsekwencje dla EJ „Żarnowiec”, gdyż wyjątkowo silna organizacja „Solidarność” tego zakładu była bardzo wrogo nastawiona do tej inwestycji i domagała się jej likwidacji.

18-19.11.1988 r.: dwa spotkania Lecha Wałęsy z gen. Czesławem Kiszczakiem, podczas których szef „Solidarność” m.in. domagał się cofnięcia decyzji o likwidacji Stoczni Gdańskiej.

30.11.1988 r.: debata telewizyjna Lecha Wałęsy z Alfredem Miodowiczem (szefem OPZZ²⁶), zdecydowanie wygrana przez Wałęsę.

18.12.1988 r.: powstanie Komitetu Obywatelskiego przy Lechu Wałęsie; powołanie 15 komisji tematycznych.

26.01.1989 r.: posiedzenie Komitetu Społeczno-Politycznego RM (pod przewodnictwem Aleksandra Kwaśniewskiego) nt. ekologicznych i społecznych skutków rozwoju energetyki jądrowej, z udziałem przeciwników (prof. Włodzimierz Bojarski i doc. Jerzy Grzywacz) i zwolenników EJ (doc. Andrzej Strupczewski, oraz dwaj eksperci MAEA: dr Morris Rosen i dr Abel Gonzales).

Cytat z wypowiedzi prof. W. Bojarskiego: *„Dopóki nie umiemy wyprodukować dobrego serka homogenizowanego, nie możemy myśleć o energetyce jądrowej”²⁷.*

Cytat z wypowiedzi p. Nizioła z Polskiego Klubu Ekologicznego: *„No i trzeba przyznać, że w tym czasie, kiedy była awaria czarnobylska rzeczywiście średnia dawka była mała. Faktycznie była mała. Ale w szpitalu w Myślenicach 10 osób leżało zamkniętych i nie było do nich dostępu. Znam osobę, która leżała tam z poparzeniem skóry... Ostatnio słyszałem, że w Krakowie ilość zachorowań na białaczkę wzrosła 2-krotnie, że liczba poronień wzrosła 10-krotnie, itd.”²⁸.*

27.01.1989 r.: drugie spotkanie w Magdalence, ustalono termin rozpoczęcia i procedurę obrad „Okrągłego Stołu”.

06.02-05.04.1989 r.: obrady „Okrągłego Stołu”, w tym negocjacje w ramach tzw. „Podstolika Ekologicznego” – Podzespołu Okrągłego Stołu ds. Ekologii (współprzewodniczący: ze strony „Solidarność” – prof. Stefan Kozłowski, ze strony rządowej – prof. Jerzy Kołodziejski). Po stronie przeciwników EJ Żarnowiec, oprócz prof. S. Kozłowskiego, w obradach tych uczestniczyli m.in.: prof. Włodzimierz Bojarski, prof. Zygmunt Polański, prof. Gotfryd Kupryszewski. Zaproszono także m.in. działaczy Polskiego Klubu Ekologicznego i aktywistów z Franciszkańskiego Ruchu Ekologicznego.

²⁶ Ogólnopolskie Porozumienie Związków Zawodowych.

²⁷ Stenogram z obrad Podzespołu ds. Ekologii, 24.02.1989 r.

²⁸ mgr Jolanta M. Iwanowska: List do Redakcji Biuletynu PTFM ws. sprostowania informacji podanych w komunikacie (zredagowanym przez dra J. Jaśkowskiego) z XIII Sympozjum nt. „Fizyka i elektronika w ochronie zdrowia i środowiska”, zorganizowanego w Gdańsku w grudniu 1988 r.

Cytat z wypowiedzi prof. Z. Polańskiego (MIR²⁹) podczas obrad Podzespołu ds. Ekologii, 24.02.1989 r.: „Przy zacofanej technologii, barku dyscypliny społecznej i brakach materiałowych, nie jesteśmy zdolni zbudować bezpiecznej elektrowni jądrowej w Polsce. Do tego trzeba mieć inne warunki, których w kraju nie umiemy stworzyć.”

Podzespół Okrągłego Stołu ds. Ekologii nie uzgodnił stanowiska w sprawie EJ „Żarnowiec”: **tw. strona „opozycyjno-solidarnościowa” żądała zaniechania tej inwestycji, zaś strona „rządowa” uznała to za dążenie za nieuzasadnione**, podpisano stosowny Protokół Rozbieżności w Sprawie Rozwoju Energetyki.

EJ Żarnowiec — ryzykowna inwestycja	
ASPEKTY TECHNICZNE	- niewłaściwa lokalizacja elektrowni jądrowej (uszkodzenia tektoniczne), - przestarzały typ reaktora (VVER-440), - brak kopuły zabezpieczającej (containment), - nie rozwiązany problem składowania odpadów radioaktywnych.
ASPEKTY EKONOMICZNE	- wysokie koszty eksploatacyjne w porównaniu z elektrowniami konwencjonalnymi (w tym duże koszty usuwania ewentualnych awarii), - krótki okres eksploatacji (wynoszący około 25 lat), przy olbrzymich nakładach inwestycyjnych i kosztach wygaszenia, - kosztowna infrastruktura specjalistyczna (medyczna, ratownicza, ...), - zależność od zagranicznych dostaw (paliwo, reaktanty, ...), - zabawienie przerwania budowy przez Międzynarodowy Fundusz Walutowy.
ASPEKTY EKOLOGICZNE	- zanieczyszczenie jeziora i parku krajoznawczego (nawet po wygaszeniu elektrowni musi być zabiegowane), - zanieczyszczenie środowiska odpadami radioaktywnymi.
ASPEKTY SPOŁECZNE	- nieufność do solidności wykonawców, - budowa elektrowni wbrew woli społeczeństwa (perspektywa permanentnych protestów społecznych), - postrzępione zagrożenia w miastach i okolicach gdańskiej i spadek atrakcyjności regionu, - negatywne opinie wielu środowisk naukowych m.in. Senat Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańskie Stowarzyszenie Akademickie, Oddział Gdański Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Rada Wydziału Historii Uniwersytetu Pomorskiego, Rada Naukowa Instytutu Oceanologii PAN.

Mimo wysokich kosztów inwestycji Żarnowiec ma dostarczać średnio tylko około 6% obecnie produkowanej energii. Moc tę można taniej uzyskać, inwestując w produkcję wydajniejszych odbiorców energii elektrycznej (przebiegając od żarówek), a także modernizując istniejące elektrownie, linie przesyłowe itp.

PRZEPOMNIENIE — realizacja z budowy EJ Żarnowiec była stanowiskiem strony opozycyjno-solidarnościowej przy Okrągłym Stole.

doc. J. Grzywacz, prof. G. Kąpczyński
Uniwersytet Gdański

Fot. 8. Ulotka sygnowana przez przeciwników budowy EJ „Żarnowiec” z UG
Photo 8. A flyer signed by the opponents of Żarnowiec NPP construction from the University of Gdańsk

Od lutego 1989 r.: ruch „Wolność i Pokój” (WiP) rozpoczyna cykl cotygodniowych piątkowych manife-

stacji antyżarnowieckich na ul. Długiej i Długim Targu na gdańskiej Starówce; 29 kwietnia demonstracja udaje się pod gmach KW PZPR; 13 maja WiP-owcy dokonali marszu – przejazdu do „Żarnowca”; w różnych miastach kraju organizowane są liczne happeningi i pikety antyżarnowieckie (m.in. w Warszawie przed budynkami rządowymi i Sejmem, ambasadami ZSRR i Francji itd.)³⁰.



Fot. 9. Pikety aktywistów ruchu „Wolność i Pokój” przeciw EJ „Żarnowiec” na gdańskiej Starówce
Photo 9. Pickets of the „Wolność i Pokój” (“Freedom and Peace”) movement activists against Żarnowiec NPP at the Gdańsk Old Town

marzec – maj 1989 r.: ruszają akcje protestacyjne przeciwko budowie EJ „Warta” w Klempiczu, organi-

²⁹ Morski Instytut Rybacki.

³⁰ <http://www.zb.eco.pl>

zowane przez Wielkopolską Akcję Obywatelską (stowarzyszenie powołane z inicjatywy Wielkopolskiego Klubu Politycznego „Ład i Wolność”, oraz Wielkopolskiego Okręgu Polskiego Klubu Ekologicznego; główni działacze: Zbigniew Czerwiński, Ryszard Gołdyn i Piotr Hardt):

- 16.03.1989 r.: pierwsza manifestacja w Poznaniu pod hasłem „Klempicz – nie!”
- 16.04.1989 r.: druga demonstracja w Poznaniu (w 3 rocznicę awarii czarnobylskiej)
- 13-13.05.1989 r.: „Marsz gwiazdzisty na Klempicz”.

08.05.1989 r.: ukazuje się pierwszy numer „Gazety Wyborczej”, która następnie aktywnie włączyła się w zwalczanie „Żarnowca”.

22.04.1989 r.: decyzja Rządu premiera Mieczysława F. Rakowskiego o **rezygnacji z budowy EJ „Warta” w Klempiczu** z reaktorami WWER-1000/W-320 (4 x 1000 MW_e).

20.05.1989 r.: Sąd Wojewódzki w Warszawie ponownie zarejestrował NSZZ „Solidarność”.

13.07.1989 r.: **wstrzymanie kredytowania budowy EJ „Żarnowiec” przez Bank Gdański; budowa zamiera już całkowicie, przy zaawansowaniu prac i dostaw jak niżej**³¹.

Roboty budowlano-montażowe na głównych obiektach technologicznych:

- budynek reaktorów 1 i 2 bloku oraz gospodarki odpadami radioaktywnymi: 40%³²,
- centralna pompownia wody chłodzącej: 60% (w tym 80% robót żelbetoniarskich),
- kanał wody chłodzącej: 80%.

Obiekty pomocnicze, zaplecza i infrastruktura budowy:

- obiekty zaplecza budowy (obiekty biurowe i socjalne, ciepłownia grzewczo-rozruchowa, ujęcie wody i stacja uzdatniania wody, sieci elektroenergetyczne, ciepłownicze, wodociągowe, teletechniczne, magazyny i wiaty, warsztaty, węzły betoniarskie): 95%,
- budownictwo mieszkaniowe (1700 mieszkań w Wejherowie, Redzie, Lęborku, Gniewinie i Krokowej): 80%,
- hotelowe: 2200 miejsc hotelowych,
- inne obiekty (drogi i bocznic kolejowa, elektryfikacja i modernizacja linii kolejowej z Wejherowa): 80%.

Realizacja dostaw (szczególne spiętrzenie dostaw wystąpiło w roku 1990 – gdy budowa była już zawieszona: 250 mld zł, w tym 180 mld z importu):

- reaktory: ok. 90% (w tym: prawie kompletny reaktor I – 98%; reaktor II – ok. 80%, wykonany zbiornik reaktora III; prawie wszystkie węzły dostawcze I i II reaktora, których produkcja została zakończona, zostały dostarczone na teren budowy), wyprodukowano też 42 napędy kaset regulacyjnych przeznaczonych dla trzech następnych reaktorów;

- inne urządzenia jądrowego układu wytwarzania pary 1 bloku: 55% (w tym: cztery kompletne wytwornice pary – dostarczone na teren budowy, dwie kolejne wytwornice pary i stabilizator ciśnienia – w zaawansowanej fazie produkcji, komplet bloków gł. rurociągów cyrkulacyjnych dla dwóch reaktorów oraz odlewy korpusów gł. pomp cyrkulacyjnych – dostarczone na teren budowy,
- turbozespoły: ok. 20% (w tym: generator 1 bloku – ok. 80%, turbiny – wykonane odlewy i odlewki elementów korpusów i wirników),
- wyposażenie transportowo-technologiczne: ok. 60% (w tym kompletna gł. suwnica budynku reaktorów),
- drzwi osłonowe: ok. 80%,
- urządzenia wentylacyjne: ok. 30%,
- urządzenia układów specjalnego oczyszczania wody: ok. 60%,
- urządzenia centralnej pompowni wody chłodzącej: ok. 60%,
- dostawy stali austenitycznej (blachy, rury, kształtowniki): ok. 80%.



Fot. 10. Czerwiec 1990 r. (fot. S. Wiesiołowski; EJŻ)

Photo 10. A view of the I and II reactors building of the Żarnowiec NPP under construction. June 1990 (Photo by S. Wiesiołowski; Żarnowiec NPP)

W podsumowaniu opinii ekspertów zespołu KERM opowiadających się za dokończeniem budowy EJ „Żarnowiec” opracowanym przez prof. J. Mareckiego³³ podano następujące liczby:

³¹ Film: „Przed decyzją”. Sierpień 1990 r.

³² Przy tym zaawansowanie robót zbrojarskich i betoniarskich na budynku gospodarki odpadami - 50%.

³³ PAA: Energetyka jądrowa. Stanowiska przeciwników i rzeczników zakończenia budowy Elektrowni Jądrowej „Żarnowiec”. Część 4. Warszawa 1989. (prof. dr hab. inż. Włodzimierz Bojarski, prof. dr hab. inż. Jacek Marecki, doc. dr inż. Andrzej Strupczewski).

- nakłady poniesione do 30.09.1989 r.: **240 mld zł** (w cenach roku 1989), co stanowi ok. **44%** całkowitych nakładów planowanych dla I etapu budowy (550 mld zł);
- dalsze nakłady nieuniknione do poniesienia nawet w przypadku zaniechania budowy: **215 mld zł**, tj. ok. 40% całkowitych planowanych nakładów.

Natomiast, w czasie tuż przed pojęciem decyzji rządowej (sierpień 1990 r.) o zaniechaniu budowy, poniesione nakłady szacowano na już **ok. 500 mln USD** (w cenach roku 1990)³⁴.

Nakłady potrzebne do zakończenia budowy I etapu szacowano wówczas na **300 mln USD i 400 mln rubli**.



Fot. 11. Prace zabezpieczające w rejonie szybu reaktora 1 bloku. Czerwiec 1990 r. (fot. S. Wiesiołowski; EJŻ)

Photo 11. Protective work on the 1st unit reactor shaft. June 1990 (Photo by S. Wiesiołowski; Żarnowiec NPP).

04.06.1989 r.: pierwsza tura wyborów do Sejmu „kontraktowego” i Senatu – **wzmoczone ataki przeciwników na EJ „Żarnowiec” w czasie kampanii wyborczej** (wielu kandydatów na parlamentarzystów z NSZZ „Solidarność” obiecuje wyborcom likwidację tej inwestycji).

18.06.1989 r.: druga tura wyborów do Sejmu „kontraktowego” i Senatu, po wyborach powstaje Obywatelski Klub Parlamentarny (OKP).

25.07.1989 r.: dostawa na teren budowy czterech wytwornic pary (transportem kolejowym) – jeszcze bez zakłóceń ze strony przeciwników budowy EJ Żarnowiec.

27-30.06.1989 r.: spotkanie specjalistów polskich i radzieckich w Świerku w sprawie uzgodnienia programu prac celem wdrożenia ulepszonych cykli paliwowych reaktora WWER-440³⁵. Już w praktyce uzyskiwano wówczas w reaktorach WWER-440 średnie wypalenia wydobywanego paliwa przekraczające 32 MWd/kgU (przy projektowej wielkości 28,6 MWd/kgU).

Uzgodnienia te dotyczyły dalszych prac w tym kierunku, w tym: wdrożenia cykli 4-letnich – przy użyciu kaset paliwowych o wzbogaceniu 4,4%, oraz zastosowania paliwa mieszanego uranowo-plutonowego tzw. MOX (w tym zakresie wówczas były już prowadzone eksperymenty przemysłowe w reaktorach WWER). Ulepszone cykle pozwoliłyby uzyskać wypalenia znacznie przekraczające 40 MWd/kgU, przy czym bynajmniej nie wymagało to „... kolejnej korekty projektu”. – wbrew temu, co twierdził minister T. Syryjczyk³⁶.



Fot. 12. Dostawa i rozładunek wytwornic pary na terenie budowy. Czerwiec 1990. (fot. S. Wiesiołowski; EJŻ)

Photo 12. Arrival and unloading of the steam generators at the construction site. June 1990. (Photo by S. Wiesiołowski; Żarnowiec NPP)

*mgr inż. Władysław Kielbasa,
absolwent Wydziału Mechanicznego Energetyki
i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, ekspert
w dziedzinie energetyki jądrowej, inżynierii reaktorowej
i bezpieczeństwa elektrowni jądrowych, główny
autor kluczowych polskich przepisów (rozporządzeń)
dotyczących bezpieczeństwa elektrowni jądrowych,
ekspert MAEA, oraz uczestnik budowy i przygotowania
eksploatacji EJ „Żarnowiec”.*

³⁴ Film: „Przed decyzją”. Sierpień 1990 r.

³⁵ Protokół sowieszczanija spiecjalistow SSSR i PNR po woprosam organizacii i prowadienija rabot w obosnowanije wniedrenija usowierszenstwowannych topliwych cyklow reaktora WWER-440, predusmotrennych Detalizirowannoj Programmoj Problemy Z.1.1KP NTP. 27-30 ljunja 1989 g., Swierk.

³⁶ „Przesłanki decyzji w przedmiocie likwidacji Elektrowni Jądrowej Żarnowiec. Spisane w 1999 r. z notatek do referatu na posiedzenie Rady Ministrów w 1990 r.” http://www.syryjczyk.krakow.pl/Elektrownia%20Jadrowa_T.htm

BADANIA NAD TOROWYM CYKLEM PALIWOWYM W AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ

Research on thorium fuel cycle at University of Science and Technology

Mikołaj Oettingen, Paweł Gajda

Streszczenie: Pierwiastek tor może zostać wykorzystany jako alternatywne paliwo dla energetyki jądrowej. Posiada on szereg zalet, które świadczą o jego użyteczności w jądrowym cyklu paliwowym m.in. jego koncentracja w naturze jest od 3 do 5 razy większa niż koncentracja uranu a zużyte torowe paliwo jądrowe charakteryzuje się mniejszą długotrwałą radiotoksycznością niż zużyte paliwo uranowe. Badania nad torowym cyklem paliwowym prowadzone są również w Polsce. W Katedrze Energetyki Jądrowej, Wydziału Energetyki i Paliw Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica (AGH) w Krakowie znajduje się unikatowy w skali Polski zestaw Th-Pb pozwalający na prowadzenie prac badawczo-rozwojowych nad paliwem torowym.

Abstract: Thorium can be used as an alternative fuel for nuclear power generation. It presents many advantages over uranium, which shows its usability in the nuclear fuel cycle. Its concentration in nature is about 3-5 times larger than concentration of uranium. In addition, the long-term radiotoxicity of the spent thorium fuel is significantly lower than the radiotoxicity of the spent uranium fuel. The research on thorium fuel cycle is also performed in Poland. Department of Nuclear Energy, Faculty of Energy and Fuels of AGH University of Science and Technology in Krakow owns unique in Poland Th-Pb fuel assembly dedicated for research on thorium fuel.

Słowa kluczowe: tor, stos Th-Pb, energetyka jądrowa

Keywords: thorium, Th-Pb assembly, nuclear power

1. Wstęp

Udział energetyki jądrowej w światowej produkcji energii elektrycznej wynosi ok. 11% [1]. Obecnie na świecie pracuje 450 komercyjnych reaktorów jądrowych w 30 krajach o całkowitej mocy zainstalowanej ok. 397 GW_e. Większość z nich stanowią reaktory typu lekko-wodnego typu PWR (Pressurized Water Reactor) i BWR (Boiling Water Reactor). Dodatkowo w ponad 50 krajach znajduje się ok. 230 reaktorów badawczych, a w transporcie morskim do napędu okrętów podwodnych, lotniskowców i lodołamaczy wykorzystywanych jest ok. 180 reaktorów napędowych. W budowie znajduje się 55 nowych reaktorów energetycznych, głównie w Chinach – 11, Indiach – 7 oraz w Rosji – 6 jednostek [2].

Zdecydowana większość komercyjnych reaktorów jądrowych pracuje na paliwie uranowym zawierającym izotop uranu ^{238}U oraz do 5% rozszczepialnego ^{235}U . Podczas pracy takiego reaktora rozszczepieniu ulega jednak nie tylko ^{235}U , który odpowiada za ok. 70% rozszczepień, ale również inne izotopy powstałe na drodze szeregu transmutacji i rozpadów jądrowych. Najważniejszym z nich jest izotop plutonu ^{239}Pu , który powstaje z obecnego w wyjściowym paliwie ^{238}U , a który jest odpowiedzialny za ok. 30% rozszczepień. W paliwie zachodzą również rozszczepienia wyższych aktynowców takich jak izotopy Np, Am oraz Cm, choć jest ich znacząco mniej. Dlatego też taki cykl paliwowy nosi nazwę uranowo-plutonowego (nazywany też uranowym lub skrótoowo U-Pu). Alternatywą dla niego może być cykl torowo-uranowy (torowy lub Th-U) bazujący na pierwiastku torze, występującym w naturze

praktycznie w postaci jednego izotopu ^{232}Th [3]. Tor sam w sobie nie jest pierwiastkiem rozszczepialnym, lecz pierwiastkiem paliwo-rodnym, który po wychwycie neutronu oraz szeregu rozpadów promieniotwórczych przekształca się w rozszczepialny ^{233}U podobnie jak ^{238}U w ^{239}Pu .

2. Wykorzystanie toru w energetyce

Podobnie jak w przypadku ^{239}Pu istnieją dwie koncepcje wykorzystania ^{233}U jako materiału rozszczepialnego. Izotopy te powstają bezpośrednio w pierwotnym paliwie jądrowym, czyli są wykorzystywane in-situ w rdzeniu reaktora jako uzupełnienie ubytku izotopu rozszczepialnego ^{235}U zawartego w pierwotnym paliwie. Opcja ta ma zastosowanie w tzw. otwartym cyklu paliwowym, gdzie zużyte paliwo jądrowe nie jest przetwarzane w celu odzyskania izotopów rozszczepialnych, a jedynie jest chłodzone, przed jego ostatecznym składowaniem w głębokich formacjach geologicznych. W opcji drugiej wyprodukowane izotopy rozszczepialne, czy to ^{239}Pu , czy ^{233}U , są odzyskiwane ze zużytego paliwa jądrowego na drodze procesów chemicznych, a następnie wykorzystywane do produkcji wtórnego paliwa jądrowego, które może zostać wykorzystane w innym reaktorze jądrowym. Teoretycznie istnieje również możliwość odzyskania izotopów Np, Am oraz Cm, co z jednej strony powiększa ilość paliwa wtórnego, a z drugiej redukuje radiotoksyczność paliwa zużytego, przeznaczonego do ostatecznego składowania. Całkowity recykling aktynowców zawartych w wypalonym paliwie to tzw. zamknięty cykl paliwowy.

Paliwo torowe może być wprowadzone do rdzenia reaktora na dwa zasadnicze sposoby homogeniczny i heterogeniczny. Pierwszy sposób zakłada mieszanie tlenku toru z tlenkiem uranu na poziomie każdego pręta paliwowego. Sposób drugi uwzględnia podzielenie rdzenia reaktora na strefy, w których znajduje się tylko wysokowzbożone w ^{235}U paliwo uranowe (z j. ang. Seed fuel – autorzy proponują – paliwo *wiodące* – brak jednoznacznego odpowiednika/zamiennika tego terminu w j. polskim) lub tylko paliwo torowe (z j. ang. Blanket – płaszcz torowy). Opcja ta z kolei dzieli się na dwa warianty. W pierwszym wariantcie podział odbywa się na poziomie kasety paliwowej, tzn. w jednej kasecie paliwowej występują osobno pręty z tlenku toru i tlenku uranu (z j. ang. SBU – Seed Blanket Unit). Wariant drugi zakłada podział na poziomie całego rdzenia, który jest wypełniony kasetami paliwowymi zawierającymi, albo pręty torowe albo uranowe (z j. ang. WASB – Whole Assembly Seed and Blanket) [4]. Warto również zaznaczyć, że w przedstawionych wariantach paliwo torowe najczęściej również zawiera w swoim składzie tlenek uranu wzbogacony do ok. 10% ^{235}U mniej więcej w proporcjach 1:5, co ułatwia powielanie ^{233}U . Wariant z podziałem na poziomie kasety często jest nazywany koncepcją Radkowsky'ego ze względu na jego wynalazcę Alvina Radkowsky'ego, amerykańskiego fizyka i zwolennika komercyjnego wdrożenia torowego cyklu paliwowego.

3. Właściwości paliwa torowego

Zainteresowanie torowym cyklem paliwowym związane jest z kilkoma unikatowymi właściwościami toru w porównaniu z uranem. Przede wszystkim w przypadku użycia jako materiału paliworodnego ^{232}Th łańcuch transmutacji i rozpadów jądrowych prowadzący do powstania plutonu oraz rzadkich aktywności jest dłuższy niż w przypadku ^{238}U . Skutkuje to ich mniejszą ilością w użytym paliwie jądrowym a tym samym jego mniejszą długożyciową radioaktywnością w porównaniu ze użytym paliwem uranowym. Ponadto w użytym paliwie wyprodukowanemu rozszczepialnemu ^{233}U zawsze towarzyszy silnie radioaktywny ^{232}U posiadający unikatową sygnaturę radiologiczną. Tym samym użyte paliwo torowe może być łatwo wykryte, co zwiększa jego odporność na proliferację. ^{232}Th może być wykorzystany do produkcji ^{233}U w wielu typach reaktorów jądrowych, zarówno o termicznym, jak i prędkim widmie neutronów np. w termicznym reaktorze wysokotemperaturowym chłodzonym helem lub prędkim reaktorze na ciekłych solach. Z punktu widzenia dostępności toru w naturze jego abundancja w skorupie ziemskiej wynosi ok. 10 ppm, czyli jest od 3 do 5 razy większa niż uranu [5]. Złoża toru są równomiernie rozmieszczone na wszystkich kontynentach, jednak jego największe zasoby występują w Indiach i Australii. Wydobycie toru jest łatwiejsze niż uranu, gdyż jego największe depozyty występują w postaci tzw. piasków monacytowych, co znacznie ułatwia ich wydobycie technikami powierzchniowymi. Obecnie tor jest wydobywany na półprzemysłową skalę na wybrzeżu Malabarskim w Indiach. Indie nie posiadają dużych złóż uranu i dlatego postulują oparcie swojego programu energetyki jądrowej na torze.

Wykorzystanie toru w energetyce jądrowej wiąże się również z pewnymi wyzwaniem. Przede wszystkim tor nie posiada izotopu rozszczepialnego, a jest jedynie materiałem paliworodnym, z którego może dopiero powstać

rozszczepialny ^{233}U . W związku z tym wymagane jest źródło neutronów, które zapoczątkuje transmutację w ^{233}U . W reaktorze jądrowym takim źródłem jest paliwo *wiodące* o stosunkowo wysokim (~20%) wzbogaceniu w ^{235}U . Większa zawartość rozszczepialnego ^{233}U zwiększa koszty produkcji takiego paliwa. Obecność radioaktywnego ^{232}U w użytym paliwie jądrowym utrudnia ekstrakcję wyprodukowanego ^{233}U , jak i jego ogólne przetwarzanie. Co więcej, czas produkcji ^{233}U z ^{232}Th jest ok. 11 razy dłuższy niż ^{239}Pu z ^{238}U , z powodu dłuższego czasu połowicznego rozpadu ^{233}Pa do ^{233}U (~27 dni) niż ^{239}Np do ^{239}Pu (~2,4 dnia). Torowy cykl paliowy wymaga wielu kosztownych prac badawczo-rozwojowych, ponieważ jego wdrożenie do energetyki jądrowej nie jest obecnie priorytetowe ze względu na dużą dostępność uranu [6].

4. Wdrożenie cyklu torowego

Prace nad torowym cyklem paliwowym były już prowadzone w przeszłości, szczególnie w latach 1950-1990. Najbardziej spektakularnymi sukcesami było uruchomienie kilku reaktorów jądrowych chłodzonych helem i moderowanych grafitem typu HTGR (High-Temperature Gas-cooled Reactor) pracujących w cyklu torowo-uranowym. W USA w latach 1966-1972 w elektrowni Peach Bottom, pracował reaktor typu HTGR o mocy termicznej 115 MW_{th} a elektrycznej ok. 40 MW_{el}. W latach 1976-1989 w USA pracował również reaktor Fort St. Vrain charakteryzujący się zwiększoną w porównaniu z reaktorem Peach Bottom mocą do 842 MW_{th} (ok. 330 MW_{el}). W Wielkiej Brytanii w latach 1966-1973 pracował eksperymentalny reaktor Dragon o mocy 20 MW_{th}. W Niemczech zostały uruchomione dwa reaktory zasilane paliwem torowym w latach 1967-1988, AVR (Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor) o mocy 46 MW_{th} (ok. 15 MW_{el}) oraz w latach 1985-1989 jeden reaktor THTR (Thorium High-Temperature Reactor) o mocy 750 MW_{th} (ok. 300 MW_{el}) [6]. Reaktory niemieckie posiadały rdzenie w postaci złoża kul grafitowych, a pozostałe rdzenie były z bloków grafitowych.

Jak wspomniano wyżej, Indie planują oparcie swojego programu energetyki jądrowej na torowym cyklu paliwowym [7]. Pierwszy etap programu zakłada produkowanie rozszczepialnego plutonu ^{239}Pu w już działających, jak i nowych reaktorach typu PHWR (Pressurized Heavy-Water Reactor) oraz w PWR. Wytworzony w nich pluton następnie posłuży jako paliwo *wiodące* otoczone płaszczem uranowo-torowym dla planowanej floty reaktorów prędkich powielających typu LMFBR (Liquid Metal Fast Breeding Reactor). Wytworzony w płaszczu torowo-uranowym ^{233}U , jak i ^{239}Pu następnie będą wykorzystywane w trzecim stopniu programu jako paliwo dla floty reaktorów AHWR (Advanced Heavy Water Reactor), pracujących w trybie samopowielania ^{233}U , tzn. jedynym ich paliwem będzie paliworodny ^{232}Th . Alternatywą dla reaktorów AHWR są reaktory typu MSBR (Molten Salt Breeder Reactor). ^{239}Pu wytworzony w drugim etapie może być również wykorzystywany jako paliwo *wiodące* tylko dla tego etapu programu.

5. Zestaw Th-Pb w AGH

Badania nad potencjałem wykorzystania toru są prowadzone również w Polsce. Katedra Energetyki Jądrowej, Wydziału Energetyki i Paliw AGH posiada unikatowy w skali polskiej zestaw torowo-ołowiowy przedstawiony na

fot. 1 i fot. 2. Składa się on z cylindrycznych prętów torowych otoczonych heksagonalnymi prętami ołowowymi o długości 120 cm. Pręty torowe o średnicy 12,6 mm są wypełnione pastylkami dwutlenku toru ThO_2 na długości 100 cm.



Fot. 1 Rdzeń stosu Th-Pb (dr inż. Przemysław Stanisław)

Photo. 1. Core of the Th-Pb assembly

Pręty zostały wyprodukowane w instytucie Bhabha Atomic Research Centre w Indiach w latach 80. Oba rodzaje prętów są na obu końcach zamknięte aluminiumowymi wtyczkami wyposażonymi w specjalne bolce, które umożliwiają ich precyzyjne pozycjonowanie w zestawie paliwowym za pomocą aluminiumowej kratownicy. Odstęp między prętami wynosi ok. 0,4 mm, co pozwala na swobodne ich wyjmowanie i zmianę konfiguracji zestawu. Rdzeń zestawu Th-Pb otoczony jest reflektorem zbudowanym z dwóch warstw cegieł ołowianych o sumarycznej grubości ok. 10 cm.



Fot. 2. Stos Th-Pb (dr inż. Przemysław Stanisław)

Photo 2. Th-Pb assembly

Zestaw znajduje się na mobilnym wózku pozwalającym przesunąć go do ekranowanego stanowiska laboratoryjnego przeznaczonego do wykonywania eksperymentów ze źródłami promieniowania neutronowego [8]. Możliwość ułożenia dowolnej konfiguracji prętów torowych, jak i ołowianych oraz możliwość wprowadzania prętów z nowych materiałów np. polietylenu lub grafitu pozwala na prowadzenie naświetlań próbek w wielu zróżnicowanych środowiskach materiałowych. Umożliwia to dowolne kształtowanie intensywności oraz widma strumienia neutronów, w zależności od specyfikacji planowanego eksperymentu. Jako bazowy materiał reflektora został wybrany ołów, ze względu na jego korzystne charakterystyki fizyko-chemiczne m.in. mnożenie neutronów w reakcjach $(n,2n)$, niski przekrój czynny absorpcji neutronu, dużą masę atomową, a tym samym słabe spowalnianie neutronów, niepalność, wysoką temperaturę wrzenia. Dodatkowo

ołów przewidziany jest jako jedno z chłodziw dla prędkich reaktorów jądrowych IV generacji typ LFR (Lead-cooled Fast Reactor). Konfiguracja zestawu umożliwia wprowadzenia źródła promieniowania neutronowego w sam jego środek w celu równomiernego naświetlenia symetrycznie rozłożonych próbek. Próbki mogą być rozmieszczone w dowolnej odległości w szczelinach pomiędzy cylindrycznymi prętami torowymi, pod źródłem neutronów, jak i w każdej pozycji po wyjęciu dowolnego pręta.

6. Przeprowadzone badania

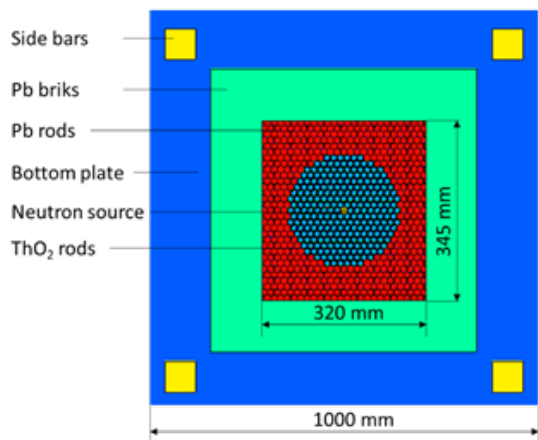
Zestaw Th-Pb w latach 90. wykorzystywany był do pomiarów wydajności reakcji jądrowych, jak i walidacji obliczeń numerycznych z pomiarami eksperymentalnymi przez zespół dr hab. inż. Jerzego Janczyszy [9]. W ramach prac prowadzonych ok. 20 lat temu zostały dokonane wstępne naświetlenia próbek materiałowych za pomocą źródła neutronowego ^{252}Cf o wydatku ok. $5,5 \cdot 10^7$ n/s umieszczonego w centralnym kanale układu, w połowie przeciętego pręta ołowianego. Wynikiem przeprowadzonego eksperymentu był pomiar aktywności próbek monitorów torowych i określenie wydajności reakcji wychwytu neutronu w ^{232}Th oraz pomiar aktywności próbek wybranych pierwiastków. Do osiowego pomiaru przestrzennej intensywności reakcji wyselekcjonowano trzy pierwiastki: In, Rh i Ni, podlegające czterem reakcjom jądrowym $^{115}\text{In}(n, g)^{116m}\text{In}$, $^{115}\text{In}(n, n')^{115m}\text{In}$, $^{103}\text{Rh}(n, n')^{103m}\text{Rh}$, $^{58}\text{Ni}(n, p)^{58}\text{Co}$. Ich próbki w postaci folii zostały umieszczone wzdłuż specjalnie przystosowanego pręta ołowianego. Czas naświetlania próbek wynosił 18h, czas chłodzenia od 5 do 180 min a czas pomiaru od 500 do 2000 sek.

Wykonano również ocenę prawidłowości obliczeń numerycznych wydajności reakcji $^{232}\text{Th}(n, g)^{233}\text{Th}$. Obliczenia numeryczne zostały wykonane za pomocą jednowymiarowego kodu BISON oraz kodu Monte Carlo MCNP4. Próbki sproszkowanego metalicznego toru w walcowych pojemnikach niklowych o średnicy wewnętrznej 2,0 mm i długości 24 mm umieszczono między prętami torowymi tak, by ich osie pionowe były równoległe do osi układu w odległości 30 mm od niej. Pomiary wydajności badanych reakcji zostały wykonane przy użyciu półprzewodnikowego detektora promieniowania X i niskoenerygetycznego promieniowania gamma, typu LEPS (Low Energy Photon Spectrometer) o grubości 13 mm i powierzchni czynnej 500 mm². Istotnym zagadnieniem pomiarowym było określenie bezwzględnej wydajności detekcji napromienionych próbek. W celu jej wyznaczenia opracowano metodę bazującą na symulacjach numerycznych kodem MCNP4 oraz pomiarach częstości zliczeń dla linii gamma emitowanych przez źródła o znanej aktywności przeznaczone do cechowania spektrometrów (^{133}Ba , ^{137}Cs i ^{152}Eu) [10].

7. Plany badawcze

Obecnie trwają prace nad ponownym uruchomieniem zestawu torowego w celu prowadzenia eksperymentów naświetlania paliwa torowego, jak i rzadkich aktywności w środowisku ołowianym. Głównym celem planowanej kampanii eksperymentalnej są pomiary natężenia i rozkładu przestrzennego reakcji $^{232}\text{Th}(n, g)^{233}\text{Th}$ prowadzącej do produkcji rozszczepialnego ^{233}U w środowisku Th-Pb. Ponadto przewiduje się pomiary natężenia różnych reakcji neutronowych na wybranych rzadkich aktywnościach oraz

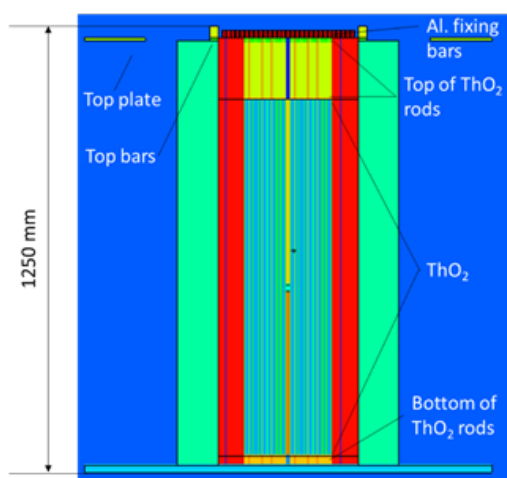
oszacowanie wpływu reflektora ołowianego na te reakcje. Do przeprowadzenia eksperymentów przewiduje się użycia kalifornowego źródła neutronów, gdyż jego widmo energetyczne jest zbliżone do spektrum rozszczepieniowego, co pozwala na rzetelne eksperymentalne odzwierciedlenie warunków fizycznych panujących w rdzeniu reaktora ołowianego prędkiego z paliwem torowym. Źródło takie ponadto charakteryzuje się wysoką aktywnością niezbędną do długotrwałych naświetlań rzędu nawet do 30 dni.



Rys. 3. Przekrój poprzeczny opracowanego modelu numerycznego stosu Th-Pb (rys. opracował dr inż. Mikołaj Oettingen)

Fig. 3. Horizontal cross section of the developed numerical model for Th-Pb assembly

Prace eksperymentalne nad reaktorami jądrowymi z paliwem torowym wymagają przeprowadzania licznych obliczeń numerycznych o wysokiej precyzji otrzymanych wyników. Opracowane metody numeryczne, programy i dane biblioteczne stosowane do tych obliczeń należy zweryfikować doświadczalnie, aby otrzymane wyniki były wiarygodne. Z punktu widzenia wielkoskalowego rozwoju technologii, korzystne jest dokonanie takiej weryfikacji w małej skali w porównaniu z urządzeniem energetycznym o pełnej mocy. W tym celu zostały wykonane prace profilometryczne oraz inwentaryzacyjne związane z pozyskaniem dokładnych informacji o geometrii, jak i składzie materiałowym stosu.



Rys. 2. Przekrój podłużny opracowanego modelu numerycznego stosu Th-Pb (rys. opracował dr inż. Mikołaj Oettingen)

Fig. 2. Vertical cross section of the developed numerical model for Th-Pb assembly

Na tej podstawie został stworzony pełny trójwymiarowy model numeryczny do symulacji transportu promieniowania oraz zmian izotopowych metodami Monte Carlo przedstawiony na rys. 1 i rys. 2. Obliczenia numeryczne zostały przeprowadzone w Akademickim Centrum Komputerowym ACK Cyfronet AGH na superkomputerze Prometheus za pomocą kodu MCB (The Monte Carlo continuous energy Burnup code) opracowanego przez dr. hab. Jerzego Cetnara w Katedrze Energetyki Jądrowej AGH [11]. Dodatkowo trwają zaawansowane prace projektowo-budowlane w celu adaptacji laboratorium analizy radiometrycznej do wykonywania eksperymentów integralnych z wykorzystaniem kalifornowego źródła neutronów. Pracownicy Katedry Energetyki Jądrowej dołączyli również do międzynarodowej inicjatywy COAUTHOR (Consortium of Academics from Universities promoting the use of THORium) promującej rozwój torowego cyklu paliwowego [12].

Mikołaj Oettingen,
Paweł Gajda,
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Energetyki i Paliw,
Katedra Energetyki Jądrowej

Literatura:

- [1] World Nuclear Association, Nuclear Power in the World Today, access:04.04.2019 <http://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>
- [2] International Atomic Energy Agency, PRIS - Power Reactor Information System, access: 04.04.2019, <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- [3] International Atomic Energy Agency, Role of Thorium to Supplement Fuel Cycles of Future Nuclear Energy Systems, IAEA Nuclear Energy Series, No. NF-T-2.4, 2012
- [4] M. Oettingen, K. Skolik, Numerical design of the Seed-Blanket Unit for the thorium nuclear fuel cycle, E3S Web Conf. Volume 10, 2016
- [5] W. W. Schulz, Thorium processing, Encyclopædia Britannica, Encyclopædia Britannica, inc., 12.08.2014, <https://www.britannica.com/technology/thorium-processing>, access: 15.04.2019
- [6] International Atomic Energy Agency, Thorium fuel cycle — Potential benefits and challenges, IAEA-TECDOC-1450, 2005
- [7] World Nuclear Association, Nuclear Power in India, access:04.04.2019, <http://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/india.aspx>
- [8] M. Oettingen, P. Stanis, Monte Carlo modelling of Th-Pb fuel assembly with californium neutron source, NUKLEONIKA 2018;63(3):87-91
- [9] J. Janczyszyn, Sprawozdanie z prac prowadzonych w latach 1995 – 1998 w ramach projektu badawczego KBN nr 8T10B05208 pt. Badania modelowe i analiza wariantu energetyki jądrowej z cyklem paliwowym Th - U, Kraków, 1998
- [10] J. Janczyszyn, Sprawozdanie uzupełniające z prac prowadzonych w latach 1998 – 1999 w ramach projektu badawczego KBN nr 8T10B05208 pt. Badania modelowe i analiza wariantu energetyki jądrowej z cyklem paliwowym Th - U, Kraków, 1999
- [11] M. Oettingen, J. Cetnar, T. Mirowski, The MCB code for numerical modeling of fourth generation nuclear reactors. Computer Science 2015, 16(4), 329–350.
- [12] Consortium of Academics from Universities promoting the use of THORium, access: 03.06.2019, <https://sites.google.com/view/coauthor-mou/memorandum-of-understanding>

KONTROLOWANIE DEGRADACJI KABLI I PRZEWODÓW ELEKTRYCZNYCH W ELEKTROWNIACH JĄDROWYCH

Controlling the degradation of electric wires and cables in nuclear power plants

Grażyna Przybytniak, Jarosław Sadło, Marta Walo

Streszczenie: Przewody i kable elektryczne są istotnymi elementami systemów zapewniających stabilną i bezpieczną pracę reaktorów jądrowych. Każda jednostka elektrowni jądrowej wymaga ok. 1500 km różnego typu kabli, które nie są przeznaczone do wymiany w czasie eksploatacji reaktora przewidywanej na 40-60 lat, pomimo degradujących warunków panujących w obudowie bezpieczeństwa, na które składają się: podwyższona wilgotność i temperatura, promieniowanie gamma, występowanie ozonu czy naprężenia mechaniczne. Ponieważ w takim otoczeniu izolacje i osłony wykonane z kompozycji polimerowych ulegają szybkiemu starzeniu, potrzebne są niezawodne metody umożliwiające zarówno monitorowanie postępu procesu degradacji, jak i oszacowania okresu bezpiecznego użytkowania kabli w przyszłości. Dotychczas ich kwalifikacja opiera się na testach mechanicznych, jednak obecnie rozważane są i stopniowo wdrażane nowe, dogodniejsze oraz dostatecznie czułe metody diagnostyczne.

Abstract: Electric cables and wires are one of the critical elements of the systems ensuring stable and safe operation of nuclear reactors. Each unit of nuclear power plant requires about 1500 km of different types of cables, which during operational lifetime of reactors estimated at 40-60 years, are not intended to be replaced, despite degrading conditions in the containment building consisting of elevated temperature and humidity, gamma radiation, ozone, mechanical stress, etc. Because in such an atmosphere insulations and sheath made of polymer composites age relatively quickly, the reliable methods are required to monitor the progress of the destructive process and to determine the period of safe use of cables in the future. So far, their qualification has been based on mechanical tests, however nowadays new, convenient and sufficiently sensitive methods are considered and implemented.

Słowa Kluczowe: kable i przewody, degradacja, kwalifikacja, elektrownia jądrowa

Keywords: cables and wires, degradation, qualification, nuclear power plant

Wstęp

Czas życia obecnie działających elektrowni jądrowych (EJ) będzie wydłużony z 40 lat do 60, a nawet 80 lat, lecz wyłącznie w przypadku, jeśli zagwarantowana zostanie ich dalsza bezpieczna eksploatacja. Bezawaryjna praca elektrowni jądrowej wymaga prawidłowego działania ogromnej liczby urządzeń elektrycznych połączonych w różnorodne systemy [1-3]. Kable i przewody elektryczne uznawane są za jeden z podstawowych elementów zapewniających niezawodną i bezawaryjną pracę reaktorów. Ich średnia liczba w jednej jednostce energetycznej sięga 25 000, natomiast całkowita długość szacowana jest na 1,5 tys. km. W związku z powyższym wszystkie organizacje międzynarodowe związane z energią jądrową, jak również użytkownicy jądrowych bloków energetycznych, doceniają istotność właściwego przeprowadzania kwalifikacji kabli, monitorowania warunków, w jakich są one użytkowane oraz skutecznego zarządzania starzeniem, zarówno w czasie normalnej pracy elektrowni, jak i w sytuacjach awaryjnych. Działania te wpisują się w dyrektywę dotyczącą bezpieczeństwa jądrowego (Council Directive 2014/87/

EURATOM; 2014), która stwierdza, że należy nadać najwyższy priorytet bezpieczeństwu jądrowemu na każdym etapie eksploatacji EJ.

Izolacje i osłony kabli wykonane są z różnego rodzaju tworzyw sztucznych podatnych na starzenie, zatem należy stosować do ich wytwarzania takie polimery, które nawet w obecności dużego natężenia czynników degradujących zapewnią niezawodne sterowanie reaktorem, w szczególności w przypadku awarii, i związanej z tym koniecznością jego bezpiecznego wyłączenia. Jakość systemów elektrycznych ma kluczowe znaczenie, gdyż zarówno najnowsze zasady bezpieczeństwa, jak i względy ekonomiczne wskazują, że wymiana okablowania w trakcie użytkowania EJ może zachodzić jedynie w stanie wyższej konieczności.

Starzenie przewodów i kabli

Ostatnie badania nad starzeniem radiacyjnym i termicznym kabli wykazały ograniczoną przydatność obecnie stosowanych technik, za pomocą których monitoruje się postęp starzenia izolacji i osłon, jak również ocenia okres bezpiecznego ich użytkowania w elektrowniach

jądrowych [4,5]. Zastrzeżenia budzą również badania destrukcji polimerów w oparciu o tzw. przyspieszone starzenie, kiedy to materiał poddawany jest działaniu czynników degradujących o natężeniu znacznie przekraczającym ich poziom w warunkach typowych dla otoczenia reaktora. W konsekwencji tego typu procedury nie zapewniają właściwej reprezentatywności wyników. Podczas powolnego starzenia procesy zachodzące w równowadze z otoczeniem w obudowie bezpieczeństwa mają zwykle charakter degradacji oksydacyjnej [6,7]. Jej skutki nie pokrywają się z efektami obserwowanymi w trakcie zintensyfikowanego starzenia, kiedy to dostępność tlenu dla reakcji chemicznych inicjowanych radiacyjnie bądź termicznie jest ograniczona.

Operatorzy reaktorów jądrowych przyjmują zwykle przybliżone modele matematyczne procesu starzenia. W takim przypadku nie jest w pełni uwzględniana struktura tworzyw sztucznych, z których wykonane są izolacje i osłony. Poza matrycą polimerową zawierają one bowiem antyutleniacze, stabilizatory, środki ograniczające palność, pigmenty/barwniki, sadzę itp. wpływające na mechanizm degradacji i jej szybkość [8].

Zachodzi zatem pilna potrzeba opracowania nowego, wielowymiarowego podejścia do problemu kontrolowania starzenia kabli i wiarygodnego przewidywania czasu ich bezpiecznej eksploatacji, w którym mogą one we właściwy sposób spełniać swoje funkcje w systemach sterowniczych i pomiarowych, instalacjach przeciwpożarowych, systemach kontroli bezpieczeństwa itd. Układy elektryczne elektrowni jądrowej muszą zapewniać zachowanie wysokich standardów niezawodności, pomimo że mogą być one narażone na ekspozycję na ekstremalne czynniki degradujące, takie jak wysoka temperatura otoczenia, promieniowanie jonizujące, duża wilgotność powietrza, ozon, jak również drgania i naprężenia mechaniczne [9,10].

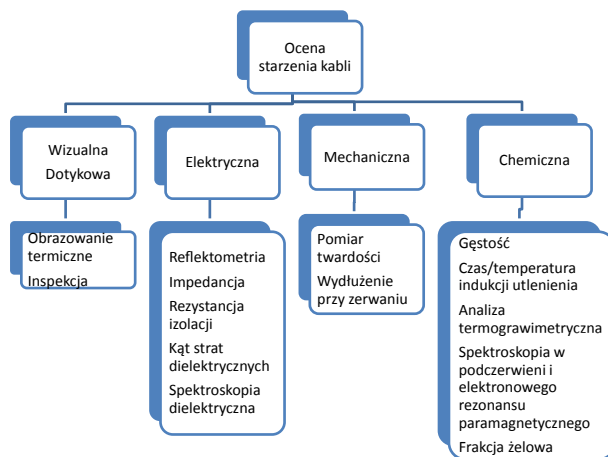
Kwalifikacja

Wszystkie urządzenia i układy elektrowni jądrowej istotne dla zachowania bezpieczeństwa muszą być poddane kwalifikacji, biorąc pod uwagę pełnione przez nie funkcje i znaczenie dla prawidłowej pracy reaktora. Poza istotnością danego elementu dla bezpieczeństwa bierze się pod uwagę skutki wynikające z jego awarii, czas, w którym musi on nadal właściwie spełniać swoją rolę w przypadku awarii jądrowej, czy częstość użycia danego systemu dla potrzeb bezpieczeństwa [11,12]. Dlatego dostawca urządzeń i jego podzespołów, w tym przewodów i kabli, jest zobowiązany udowodnić, że dostarczane produkty wykazują zakładaną niezawodność. Każde urządzenie musi spełniać wymagane dla danej klasy bezpieczeństwa kryteria związane z jego odpornością na obciążenia eksploatacyjne i awarie. W procesie kwalifikacji urządzenie poddawane jest obciążeniami przekraczającym typowe warunki pracy reaktora, jak również obciążeniami awaryjnym. Wymagania dotyczące kwalifikowania urządzeń niezbędnych dla zachowania bezpieczeństwa w elektrowniach jądrowych zwykle formułowane są w oparciu o w normę IEEE 323 [13].

Wysoka trwałość kabli jest szczególnie istotna, jeśli są one zainstalowane w tzw. gorących punktach (ang. *hot spots*), w których natężenie czynników degradujących jest szczególnie duże. Np. dla reaktora wodnego ciśnieniowego PWR (ang. *Pressurized Water Reactor*) jest to otoczenie wytwornic pary i obiegu pierwotnego, a dla reaktora wodnego wrzącego BWR (ang. *Boiling Water Reactor*) – przewężenie obudowy bezpieczeństwa i obszar zaworu nadmiarowego węzła technologicznego układu świeżej pary. Poza odpornością na działanie niekorzystnych czynników termicznych i radiacyjnych kable powinny wykazywać podwyższoną wytrzymałość w przypadku kontaktu z płomieniem. W obudowie bezpieczeństwa stosowane są kable ognioodporne i bezhalogenowe, tj. nie emitują trujących substancji, o ograniczonej emisji dymów w przypadku pożaru, oraz nierozprzestrzeniające płomienia.

Metody diagnostyczne

Poniższy schemat przedstawia techniki badawcze, które mogą być stosowane do oceny zaawansowania stopnia degradacji izolacji i osłony kabla [14].



Rys. 1. Schemat technik badawczych stosowanych do oceny zaawansowania stopnia degradacji izolacji i osłony kabla

Fig. 1. Diagram of research techniques used to assess the degree of degradation of insulation and cable sheath

Ocena wizualna jest metodą nieniszczącą, pozwalającą na identyfikację pęknięć osłony, odbarwień, stwierdzenie obecności zanieczyszczeń powierzchni kabla chemikaliami bądź olejami oraz zlokalizowanie innych uszkodzeń miejscowych, takich jak pęcznienie czy deformacja. Poza tą rutynowo stosowaną jakościową oceną stanu okablowania zwykle kontroluje się parametry otoczenia wpływające na szybkość starzenia, głównie moc dawki pochłoniętej i temperaturę. Natomiast dzięki termografii w podczerwieni można określić „gorące punkty” wewnątrz lub wokół instalacji elektrycznych. Jednak metody te mogą znaleźć zastosowanie wyłącznie w stosunku do łatwo dostępnych fragmentów kabli usytuowanych poza kanałami instalacyjnymi.

Techniki opierające się na pomiarach elektrycznych mogą być stosowane, jeśli wraz z postępowaniem starzenia wybrany parametr elektryczny wykazuje odchylenie od stanu pierwotnego [14,15].

Reflektometria w dziedzinie czasu TDR (ang. *time-domain reflectometry*) i w dziedzinie częstotliwości FDR (ang. *frequency domain reflectometry*) znajdują zastosowanie do wyznaczenia odległości od różnego rodzaju uszkodzeń w liniach kablowych oraz nieciągłości lub zaburzeń impedancji, co umożliwia kontrolę integralności systemu elektrycznego poprzez identyfikację i lokalizację usterek.

Pomiar impedancji prądu zmiennego generuje sygnał prądowy o różnych częstotliwościach między parą przewodów w obwodzie elektrycznym. Dzięki pomiarowi indukcyjności, pojemności i rezystancji LCR (ang. *inductance, capacitance and resistance*) możliwe jest diagnozowanie stanu okablowania. Niespodziewanie niskie lub wysokie impedancje wskazują na degradację kabli, wadliwe połączenia lub usterki fizyczne. Nieprawidłowe wskazania pojemności zwykle świadczą o mechanicznym uszkodzeniu izolacji.

Pomiar rezystancji izolacji IR (ang. *insulation resistance*) dostarcza informacji o jakości kabli i ich połączeń oraz o odbiorniku końcowym. Znając napięcie przyłożone między przewodem zasilającym a uziemieniem oraz prąd upływu można wyznaczyć rezystancję. Dane zwykle analizuje się jako stosunek rezystancji do dwóch różnych przedziałów czasowych, wyznaczając współczynnik absorpcji dielektrycznej DAR (ang. *dielectric absorption ratio*), współczynnik polaryzacji PR (ang. *polarization ratio*) i wskaźnik polaryzacji PI (ang. *polarization index*). Na wyniki wpływają warunki otoczenia, tj. temperatura i wilgotność względna. Pomiar wykonuje się zwykle w trakcie testów symulowanych awarii DBE (ang. *design basis event* czy LOCA; ang. *loss of coolant accident*).

Za pomocą oznaczenia parametru tangensa kąta strat dielektrycznych TD (ang. *tan delta*) udaje się rozpoznać i zmierzyć integralne skutki postępującej degradacji kabli, co czyni je dogodnym narzędziem do monitorowania jakości izolacji. Jej wartość jest funkcją częstotliwości.

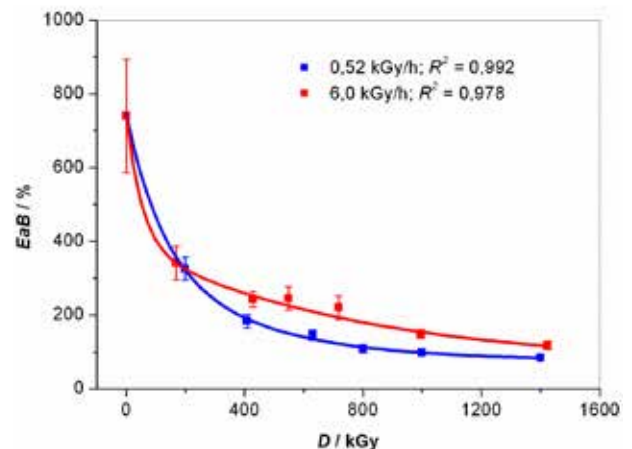
Spektroskopia dielektryczna DS. (ang. *dielectric spectroscopy*) to metoda badawcza bazująca na reakcji materiału na przyłożone pole elektryczne. Prąd elektryczny przepływający przez próbkę zmienia się w zależności od częstotliwości zmiennego pola elektrycznego. W teście wykorzystywane jest oddziaływanie pola elektrycznego z momentem dipolowym i ładunkiem materiału. Interpolacja uzyskanego widma dielektrycznego dostarcza informacji o strukturze i zmianach w analizowanym materiale.

Dotychczasowe próby zastosowania na większą skalę pomiarów elektrycznych jako kryterium oceny stanu kabli w elektrowniach jądrowych nie powiodły. Na oznaczenia duży wpływ mają warunki zewnętrzne oraz połączenia kabli z przyrządem pomiarowym, co wpływa na różnice w wynikach testów przeprowadzonych przez różne laboratoria. Stwierdzono również niewystarczającą ich czułość. Jednak niewątpliwie metody elektryczne po przezwyciężeniu powyższych trudności i opracowaniu odpowiednich procedur będą

miały w przyszłości istotne znaczenie, gdyż są technikami nieniszczącymi, w wielu przypadkach nie wymagają pobierania próbek, a ponadto pozwalają ocenić stan izolacji na całej długości kabla, nie zaś lokalnie, jak w przypadku metod chemicznych i mechanicznych.

Badania mechaniczne są rutynowo stosowane w EJ do kwalifikacji kabli [13,16,17]. Spadek względnego wydłużenia przy zerwaniu EaB (ang. *elongation at break*) o ponad 50% w większości przypadków uznawany jest za kryterium eliminujące kabel z dalszego użycia. Metoda jest powszechnie stosowana, gdyż nie wymaga skomplikowanego oprzyrządowania, a maszyna do badań wytrzymałościowych jest szeroko dostępna i prosta w obsłudze. Jednak testy wykazują szereg minusów, z których najważniejsze to:

- (1) konieczność wykonywania kilku pomiarów w celu zminimalizowania błędu i statystycznej obróbki wyników,
- (2) niedogodności związane z pobieraniem próbek w postaci wiosełek (ewentualnie pasków) z izolacji/osłon, których kształt zawsze ma postać walca,
- (3) trudności w pozyskiwaniu materiału do badań. Ostatni z wymienionych problemów znajduje rozwiązanie poprzez pobieranie próbek:
 - z kabli, które aktualnie ulegają wymianie w EJ,
 - z tzw. depozytów, tj. kabli, które są układane w sąsiedztwie instalacji elektrycznej i podlegają starzeniu w identycznych warunkach,
 - z materiałów poddanych przyspieszonemu starzeniu w warunkach laboratoryjnych.



Rys. 2. Zmiany wydłużenia przy zerwaniu (EaB / %) w funkcji dawki pochłoniętej (D / kGy) dla osłony EPR starzonej promieniowaniem gamma z wykorzystaniem dwóch mocy dawek: 6,0 kGy/h i 0,52 kGy/h [18]

Fig. 2. Changes in elongation at break (EaB / %) as a function of absorbed dose (D / kGy) for EPR sheath affected by gamma radiation using two dose rates: 6.0 kGy / h and 0.52 kGy / h [18]

Wydłużenie przy zerwaniu stanowi dotychczas podstawowy test oceny jakości kabli, dlatego wyniki badań wykonywanych innymi technikami są korelowane wartościami EaB. Rys. 2. ilustruje przykładowe zmiany parametru w funkcji dawki pochłoniętej dla osłony kabla przedstawionego na fot. 1.

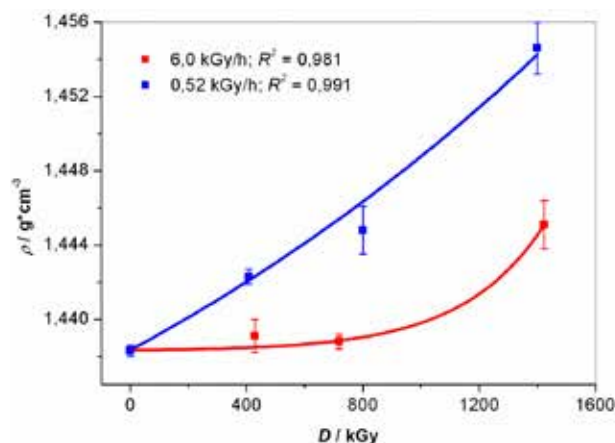


Fot. 1. Kabel średnionapięciowy. Osłona wykonana z gumy etylenowo-propylenowej (EPR) wypełnionej w 60% wodorotlenkiem glinu ($\text{Al}(\text{OH})_3$) pełniącym funkcję opóźniacza palenia [18]

Photo 1. Medium voltage cable. Sheath made of ethylene-propylene rubber (EPR) filled with 60% aluminum hydroxide ($\text{Al}(\text{OH})_3$) acting as a flame retardant [18]

System monitorujący starzenie polimerów za pomocą pomiaru twardości materiału z wykorzystaniem węgelnika IM (ang. *indenter module*) jest przenośny, poręczny i nieniszczący. Pomiar twardości obliczany jest na podstawie zależności siły od odkształcenia materiału polimerowego powstającego w wyniku wciskania węgelnika ze stałą prędkością. Zalecane parametry pomiaru zawarte są w normie w IEC/IEEE 60780-323 [13].

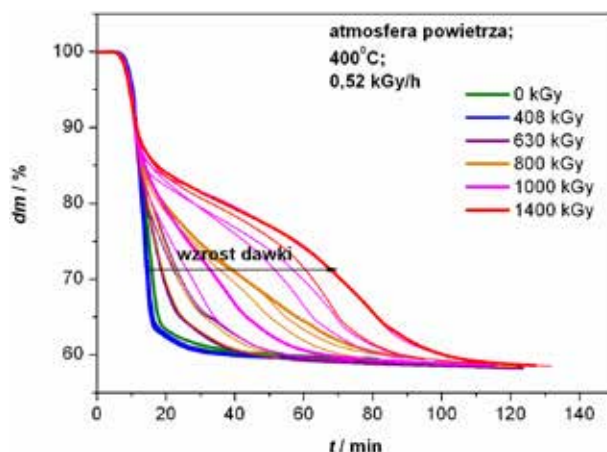
Do diagnostyki postępu starzenia można również stosować szeroką gamę metod termicznych i fizykochemicznych.



Rys. 3. Zmiany gęstości ($\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) w funkcji dawki pochłoniętej (D / kGy) osłony EPR starzonej promieniowaniem gamma z wykorzystaniem dwóch mocy dawek: 6,0 kGy/h i ISSL 0,52 kGy/h [18]

Fig. 3. Changes in density ($\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) as a function of the absorbed dose (D / kGy) of EPR sheath affected by gamma radiation using two dose rates: 6.0 kGy/h and ISSL 0.52 kGy/h [18]

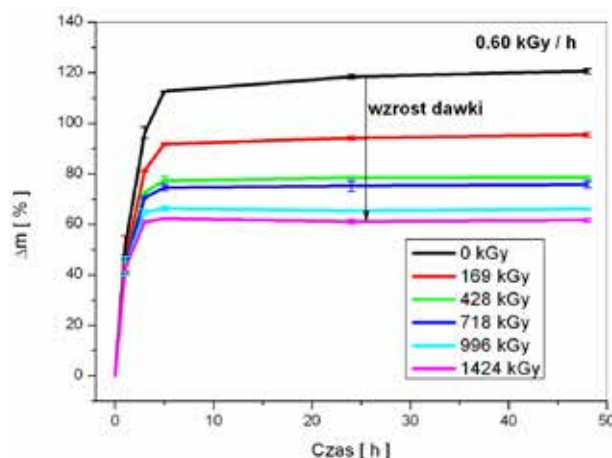
Pomiar gęstości materiału jest prostą metodą dostarczającą informacji o stopniu zaawansowania procesu starzenia związanego z degradacją oksydacyjną materiału. W jej wyniku gęstość polimeru wzrasta, a obserwowany efekt, po skorelowaniu z EaB, może być pomocny w procesie kwalifikacji kabli, rys. 3.



Rys. 4. Zestawienie termogramów TGA osłony EPR przedstawiające spadek masy ($dm / \%$) w funkcji czasu (t / min) w atmosferze powietrza rejestrowanych w 400 °C dla próbek odniesienia i po starzeniu promieniowaniem gamma o mocy dawki 0,52 kGy/h [18]

Fig. 4. Series of TGA thermograms of EPR sheaths showing mass decrease ($dm / \%$) as a function of time (t / min) in air atmosphere recorded at 400 °C for reference samples and after gamma radiation aged with a dose rate of 0.52 kGy/h [18]

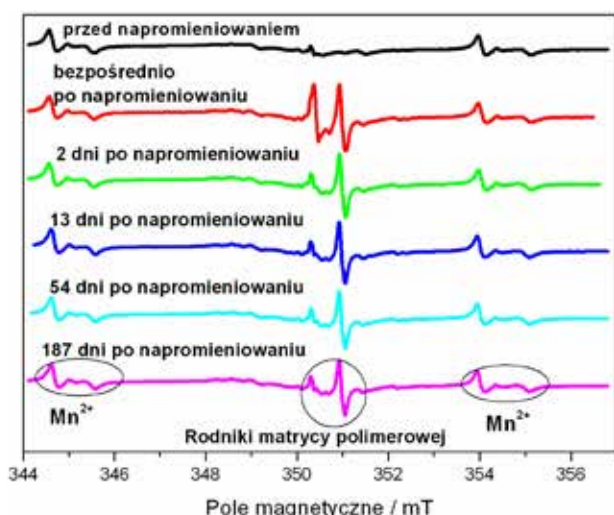
Analiza termogravimetryczna TGA (ang. *thermogravimetric analysis*) umożliwia oznaczanie zmian mas próbek przy zadanej szybkości wzrostu temperatury albo w warunkach izotermicznych. W wariancie pierwszym różnice w termogramach materiałów wyjściowych i starzonych są zwykle nieznaczne [19,20]. Natomiast na podstawie badań prowadzonych w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej stwierdzono, że rozkład niektórych polimerów w stałej temperaturze (np. w 400°C), w szczególności w atmosferze powietrza, zmienia się wraz z postępowaniem degradacji oksydacyjnej. Wydłużenie czasu termicznego rozkładu może służyć jako dogodny wskaźnik monitorowania tego procesu, co przedstawiono na rys. 4.



Rys. 5. Zestawienie zależności stopnia spęcznienia ($\Delta m / \%$) w funkcji czasu (t / h) dla osłony EPR poddanej starzeniu promieniowaniem gamma o mocy dawki 0,6 kGy/h [18]

Fig. 5. Comparison of the degree of swelling ($\Delta m / \%$) as a function of time (t / h) for the EPR sheaths aged by gamma radiation with a dose rate of 0.6 kGy/h [18]

Oznaczenie frakcji żelowej GF (ang. *gel fraction*) pozwala na oszacowanie wydajności procesu pękania wiązań kowalencyjnych w łańcuchach polimerów. W wielu przypadkach izolacje i osłony wykonane są z polimerów sieciowanych chemicznie. Wraz z pogłębiającym się procesem degradacji, wielkość frakcji żelowej maleje w wyniku destrukcji trójwymiarowej sieci utworzonej przez makrocząsteczki. Stwierdzono również redukcję współczynnika pochłaniania rozpuszczalnika SUF (ang. *solvent uptake factor*). Zjawisko to jest związane z tworzeniem polarnych grup funkcyjnych zawierających tlen, które nie sprzyjają procesowi dyfuzji niepolarnego rozpuszczalnika. Zależność stopnia spęczenia za pomocą ksyleny od dawki pochłoniętej dla osłony kabla przedstawia rys. 5.



Rys. 6. Zestawienie widm ESR dla osłony EPR przed i po napromieniowaniu dawką ok. 18 kGy przy mocy dawki 6,0 kGy/h [18]

Fig. 6. Series of ESR spectra for EPR sheath before and after irradiation with a dose of approx. 18 kGy at a dose rate of 6.0 kGy/h [18]

Chociaż za pomocą metod spektroskopowych, np. ESR (ang. *electron spin resonance*), FTIR (ang. *Fourier-transform infrared spectroscopy*) czy NIR (ang. *Near-infrared spectroscopy*), można ocenić procesy chemiczne inicjowane termicznie bądź radiacyjnie, jednak analiza ich widm nie wystarcza, aby ilościowo oznaczyć, jak daleko posunięty jest proces degradacji. Mogą one jednak służyć do poznania mechanizmów reakcji odpowiedzialnych za pogarszanie się jakości izolacji i osłon wykonanych z polimerów [7,18]. Spektroskopia ESR daje wgląd w procesy rodnikowe inicjowane radiacyjnie, które stanowią pierwszy etap degradacji polimerów, rys. 6.

Czas indukcji utlenienia OIT (ang. *oxidation induction time*) wyznacza się ogrzewając próbkę materiału w atmosferze azotu do wybranej temperatury, a następnie przetrzymuje się ją w atmosferze tlenu w warunkach izotermicznych, aż do osiągnięcia egzotermicznego efektu cieplnego związanego z utlenianiem. OTI jest definiowane jako przedział czasu, jaki upłynął pomiędzy wprowadzeniem atmosfery tlenowej a osiągnięciem izotermii utleniania. OIT maleje wraz z pogłębiającą się degradacją polimeru pozostającego w równowadze z tlenem

atmosferycznym oraz zużywaniem się antyutleniaczy i stabilizatorów obecnych w tworzywie.

Opracowywanie nowych kryteriów

Konieczność podejmowania badań w celu opracowania nowych metod diagnozowania kabli wynika nie tylko z wydłużonego czasu eksploatacji EJ, lecz również w związku z instalowaniem nowego typu reaktorów, stosowaniem nowej generacji kabli wykonanych z innowacyjnych materiałów polimerowych czy wdrażaniem do praktyki przemysłowej nowych technik instrumentalnych [17].

Należy oczekiwać, że wyniki tych prac umożliwią:

- stosowanie naukowo potwierdzonych i znormalizowanych podejść do przewidywania czasu bezpiecznego użytkowania kabli [12],
- uwzględnienie w procesie ich starzenia informacji dotyczących budowy kabli i składu tworzyw sztucznych, z których wykonane są izolacje i osłony [8],
- ocenę wpływu różnorodnych czynników degradujących i skutków ich równoczesnego działania na polimery,
- zaproponowanie nieniszczących technik monitorowania kabli oraz opracowanie niezawodnych kryteriów wskazujących na konieczność ich wymiany.

Takie instrumenty i metody badawcze pozwoliłyby operatorom EJ na bezpieczne przedłużenie czasu eksploatacji reaktorów II i III generacji, a tym samym przyczyniłyby się do zrównoważonego rozwoju energetyki wykorzystującej EJ jako bezemisyjne źródło energii.

Komisja Europejska wspiera powyższe działania w ramach projektów EURATOM. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w latach 2011-2014 uczestniczył w projekcie „**Diagnozowanie i prognozowanie starzenia kabli niskiego napięcia**” (2055/7.PR-EURATOM/2011/2), natomiast od 2017 do 2022 r. jest partnerem konsorcjum realizującego projekt „**Europejskie narzędzia i metodologie dla efektywnego zarządzania starzeniem kabli w elektrowniach jądrowych**” (3781/H2020-Euratom/2017/2). W obu projektach funkcję koordynatora powierzono Electricite de France (EdF).

Podsumowanie

Dyskutowane w kraju wdrożenie energetyki jądrowej pociąga za sobą konieczność opracowania własnych przepisów w zakresie monitorowania stanu okablowania, prognozowania czasu jego bezpiecznej eksploatacji oraz przeprowadzania kwalifikacji [16,17]. Powyższe zagadnienia wymagają analizy rodzajów kabli i przewodów stosowanych w obudowie reaktora oraz materiałów polimerowych, z których są one wykonane.

Wybór typu reaktora ma kluczowe znaczenie dla przewidywanego średniego natężenia czynników degradujących w warunkach eksploatacyjnych oraz

w czasie wypadku jądrowego, jak również dla zlokalizowania miejsc podwyższonego ryzyka. Na tej podstawie należy sporządzić plan rozmieszczenia depozytów kabli oraz opracować profil ich przyspieszonego starzenia w warunkach laboratoryjnych symulujących awarię. Powyższe działania są niezbędne dla oceny prognozowanego czasu bezpiecznego użytkowania kabli z wykorzystaniem optymalnych metod diagnostycznych oceniających zaawansowanie procesu degradacji. Konieczne jest również sformułowanie wytycznych dla aktów normatywnych regulujących sposób przeprowadzenia ich kwalifikacji. Obecnie nie ma w Unii Europejskiej zharmonizowanych przepisów dotyczących tych kwestii. Francja i Niemcy opracowały w tym zakresie własne standardy, które tak jak w innych krajach europejskich, opierają się na normach obowiązujących w USA – IEC 60780 i IEEE 323. W roku 2016 ukazał się ujednolicony dokument IEC/IEEE 60780-323 „Nuclear facilities – Electrical equipment important to safety Systems – Qualification” [13]. Jest on poświęcony różnym metodom kwalifikacji urządzeń elektrycznych, w tym przewodów i kabli, oraz określa wymagania jakie muszą one spełniać. Poza tradycyjnym testem bazującym na pomiarze EaB zawiera on wskazówki dotyczące metod eksperymentalnych wykorzystujących badania czasu indukcji utlenienia, pomiaru twardości, reflektometrii w dziedzinie czasu i rezystancji izolacji.

Praca naukowa finansowana ze środków finansowych na naukę w latach 2017-2022 przyznanych na realizację projektu międzynarodowego współfinansowanego oraz projektu H2020, Euratom Research and Training Programme, grant nr 755183.

*dr hab. Grażyna Przybytniak, prof. IChTJ
dr Jarosław Sadło,
dr Marta Walo,
Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

Literatura:

- [1] IAEA Safety Standard Series, Safety of Nuclear Power Plants: Design, Requirements No. NS-R-1, IAEA, Vienna 2000.
- [2] IAEA Safety Standard Series, Safety Assessment and Verification for Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-1.2, IAEA, Vienna 2001
- [3] IAEA Safety Standard Series, Maintenance, Surveillance and In-service Inspection in Nuclear Power Plants, Safety Guide No. NS-G-2.6, IAEA, Vienna 2002
- [4] V. Placek, T. Kohout “Comparison of cable ageing” Radiat. Phys. Chem. 79 (2010) 371–374
- [5] M. Celina, K.T. Gillen, R.A. Assink, Accelerated aging and lifetime prediction: Review of non-Arrhenius behaviour due to two competing processes. Polym. Deg. Stab. 90 (2005) 395–404
- [6] V. Placek, B. Bartonicek, The dose rate effect and the homogeneity of radio-oxidation of plastics. Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B 185 (2001) 355–359
- [7] M. Rodriguez-Vazquez, Ch. M. Liauw, N. S. Allen, M. Edge, E. Fontan, Degradation and stabilisation of poly(ethylene-stat-vinyl acetate): Spectroscopic and rheological examination of thermal and thermo-oxidative degradation mechanisms. Polym. Degrad. Stability 91 (2006) 154–164
- [8] J. Boguski, G. Przybytniak, K. Mirkowski: Model studies on phenolic antioxidant role in radiation- and thermally-induced accelerated degradation of electrical cable insulation. Nukl., 57 (2012) 485–489
- [9] T. Seguchi, K. Tamura, T. Ohshima, A. Shimada, H. Kudoh, Degradation mechanisms of cable insulation materials during radiation– thermal ageing in radiation environment. Radiat. Phys. Chem. 80 (2011) 268–273
- [10] S. Ilie, R. Setnescu, E.M. Lungulescu, V. Marinescu, D. Ilie, T. Setnescu, G. Mares, Investigations of a mechanically failed cable insulation used in indoor conditions. Polym. Testing 30 (2011) 173–182
- [11] T. Kenneth, G. R. Assink, R. Bernstein, M. Celina, Condition monitoring methods applied to degradation of chlorosulfonated polyethylene cable jacketing materials Polym. Deg. Stab. 91 (2006) 1273–1288
- [12] „Część Elektryczna Elektrowni Jądrowej” J. Nowicki, Stowarzyszenie Elektryków Polskich, Warszawa, 2017.
- [13] IEEE 60780-323-2016 - IEC/IEEE International Standard - Nuclear facilities - Electrical equipment important to safety - Qualification
- [14] Benchmark analysis for condition monitoring test techniques of aged low voltage cables in nuclear power plants IAEA-TECDOC-1825, Vienna, 2017
- [15] J.-F. Chailan, G. Boiteux, J. Chauchard, B. Pinel, G. Seytre, Effects of thermal degradation on the viscoelastic and dielectric properties of chlorosulfonated polyethylene (CSPE) compounds. Polym. Deg. Stab. 48 (1995) 61–65
- [16] M. Ito T. Oka, Y. Hama, Evaluation of time accelerated irradiation method of elastomer by modulus–ultimate elongation profile. Radiat. Phys. Chem. 78 (2009) 1081–1084
- [17] IAEA Nuclear Energy Series Assessing and Managing Cable Ageing in Nuclear Power Plants, No. NP-T-3.6, Vienna 2012
- [18] Dobór kryteriów oceny degradacji radiacyjnej i termicznej kabli. Rozprawa doktorska J. Boguski, Warszawa, 2015.
- [19] J. Boguski, G. Przybytniak, K. Łyczko, New monitoring by thermogravimetry for radiation degradation of EVA. Radiat. Phys. Chem. 100 (2014) 49–53
- [20] G. Przybytniak, J. Boguski, V. Placek, L. Verardi, D. Fabiani, E. Linde, U. W. Gedde Inverse effect in simultaneous thermal and radiation aging of EVA insulation EXPRESS Polym. Let. 9 (2015) 384–393

WPŁYW ENERGETYKI JĄDROWEJ NA ŚRODOWISKO

The Impact of Nuclear Energy on Environment

Krzysztof Rzymkowski

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono zalecenia dotyczące ochrony środowiska przy projektowaniu i budowie zakładów przemysłu jądrowego oraz zasady unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych.

Abstract: Indications for environment protection rules in nuclear Energy plants planning and construction, including nuclear waste management are discussed.

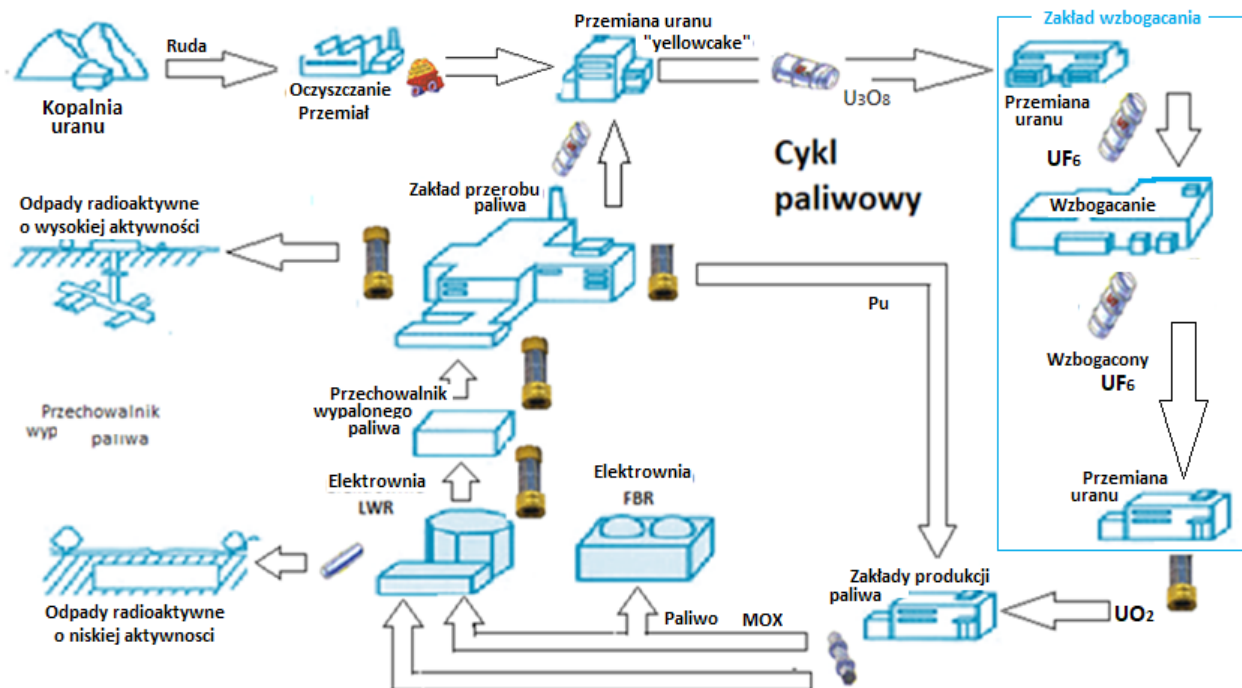
Słowa kluczowe: emisje radioaktywne, tryt, ciepło odpadowe, zanieczyszczenie środowiska, unieszkodliwianie odpadów jądrowych

Keywords: radioactive emission, tritium, waste heat, environment contamination, nuclear waste disposal

Energetyka jądrowa opiera się na możliwie jak najwydajniejszym wykorzystaniu powszechnie występującego w skorupie ziemskiej uranu jako źródła energii.

Energetyka jądrowa stanowi rozbudowany rodzaj przemysłu, którego charakterystyczną cechą jest cykl paliwowy, polegający na zamkniętym obiegu paliwa uranowego, przetwarzanego w szeregu zakładach stanowiących niezależne obiekty przemysłowe. Wymaga

to indywidualnego określenia ich wpływu na środowisko. Wpływ ten rozpoczyna się w chwili rozpoczęcia budowy i pod wieloma względami jest identyczny jak w przypadku wszystkich innych nowo powstających zakładów przemysłowych. Natomiast wpływ zakładów przemysłu jądrowego na środowisko w czasie normalnej ich eksploatacji jest praktycznie pomijalny.



Rys. 1. Cykl paliwowy (fot. Krzysztof Rzymkowski)

Fig. 1. Nuclear fuel cycle (fot. Krzysztof Rzymkowski)

Ochrona środowiska – zalecenia

Ocena oddziaływania przemysłu jądrowego na środowisko obejmuje nie tylko zagadnienia związane z promieniowaniem. Przy rozważaniach wpływu energetyki jądrowej na środowisko należy również uwzględnić wszystkie problemy związane z infrastrukturą przemysłową ze szczególnym zwróceniem uwagi na specyfikę przemysłu jądrowego. Współczesne zalecenia ochrony środowiska dotyczą przede wszystkim zagadnień ochrony czystości powietrza, wody, gleby, ograniczenia emisji różnych substancji i promieniowania, ograniczenia wibracji i hałasów, zachowania krajobrazu, ochrony zabytków i ekosystemów, ograniczenie wpływu na zmianę klimatu oraz zapewnienie bezpieczeństwa ludności z uwzględnieniem zagrożeń naturalnych. Wszystkie te elementy nie powinny wpływać niekorzystnie na rozwój gospodarczy. Zalecenia ochrony środowiska tzw. strategiczna ocena oddziaływania na środowisko (*strategic environmental assessment – SEA*) są właściwie zbiorem wskazówek, porad, na jakie problemy należy zwrócić szczególną uwagę przy budowie i eksploatacji zakładów przemysłowych. Są one opracowywane przez różne organizacje międzynarodowe. Zalecenia dotyczące energetyki jądrowej opracowuje Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej.

Ocena wpływu zakładów energetyki jądrowej na środowisko tj. powietrze, wodę i glebę musi uwzględniać przede wszystkim narażenie ludzi, fauny i flory. Jest to bardzo złożony problem. Najważniejszym zadaniem jest zachowanie czystości powietrza na każdym etapie powstawania, eksploatacji i likwidacji zakładów jądrowych. Drugim istotnym zagadnieniem jest wykorzystanie i czystość wody oraz związane z tym zagadnienie unieszkodliwiania ścieków. Należy również zwrócić uwagę na gospodarkę wodną w rejonie zakładów, uwzględniając zmianę poziomu wód gruntowych, nawadnianie obszarów rolniczych, dostarczanie wody do gospodarstw domowych, a nawet ewentualne problemy nawigacyjne żeglugi śródlądowej. Z gospodarką wodną związany jest również problem jej wykorzystania do chłodzenia urządzeń w zakładach cyklu paliwowego i odprowadzania ciepła odpadowego wpływającego na zmianę mikroklimatu. Czystość gleby jest silnie powiązana z emisją różnych substancji do atmosfery i odprowadzaniem ścieków.

Emisja nieradioaktywnych substancji chemicznych w przemyśle jest na ogół powiązana z procesem spalania węgla kamiennego, brunatnego lub gazu. Jedynymi zakładami chemicznymi w cyklu paliwowym są zakłady przerobu paliwa, w których procesy chemiczne nie wymagają używania lotnych substancji i są przeprowadzane w hermetycznie szczelnych pomieszczeniach. Wymiana powietrza jest w nich przeprowadzana przez systemy filtrujące wychwytyjące aerozole. Innym źródłem ewentualnej emisji substancji chemicznych są kopalnie uranu. Promieniowanie pochodzące z materiałów jądrowych jest kontrolowane w każdym pomieszczeniu, gdzie są one używane i wszelkie działania są tak zaprojektowane, by emisja promieniowania była utrzymana na najniższym osiągalnym poziomie.

Ważnym elementem ochrony środowiska jest ograniczenie hałasu i wibracji. Mogą one wpływać na ludzi i zwierzęta. W przemyśle jądrowym te zjawiska występują sporadycznie na ogół przy budowie nowych zakładów lub ich remoncie, czy przy likwidacji. Szczególnie uciążliwy może być hałas i wibracje w czasie transportu materiałów budowlanych lub gruzu, jak i praca w odkrywkowych kopalniach uranu. W czasie normalnej eksploatacji przy zwykłych warunkach pogodowych wibracje i hałasy są znikome. Wibracje powstające przy pracy turbin w elektrowniach są szybko tłumione. Przy projektowaniu zakładów przemysłu jądrowego zaleca się uwzględnienie hałasu i wibracji pochodzące z innych koniecznych towarzyszących konstrukcji dróg, kolei, instalacji wodnych lub sieci elektrycznej.

Lokalizacja zakładów przemysłu jądrowego może mieć istotny wpływ na ochronę środowiska. O ile niektóre zakłady cyklu paliwowego ze względów ekonomicznych są budowane blisko siebie np. kopalnia uranu, zakłady przemiału i zakłady produkcji „yellow cake” (mieszanina tlenków uranu), to przy wyborze miejsca budowy innych zakładów, szczególnie elektrowni jądrowych należy, oprócz ekonomii, kierować się dodatkowo wymaganiami ochrony środowiska.

Część gruntów, na których powstaje zakład przemysłu jądrowego, będzie wyłączona z innego użytkowania na okres ok. 100 lat (zakładając czas pracy np. elektrowni na ok. 80 lat). Powierzchnia zajmowana przez reaktor energetyczny wynosi ok. 20 ha, a przez elektrownię wynosi ok. 2 km². Zakłada się, że po likwidacji elektrowni teren powróci do stanu początkowego, ale powinna również być zlikwidowana powiązana z nią infrastruktura drogi, trakcje elektryczne itp. Może to mieć istotny wpływ na dalsze użytkowanie gruntów i krajobraz. Najtrudniej jest zniwelować wpływ na środowisko w kopalniach uranu i składowiskach. Ponieważ budowa zakładów przemysłu jądrowego wyłącza te tereny z użytkowania na długi okres, muszą być one sprawdzone pod wieloma względami np. czy nie naruszają pamiątek historycznych, czy nie niszczą krajobrazu, wpływając na turystykę, czy nie ograniczają dostępu do innych atrakcyjnych obszarów, nie wpływają na regionalne tradycje ludności, niszcząc lokalne dziedzictwo kulturowe itd.

Jednym z najważniejszych celów ochrony środowiska jest ochrona ekosystemów. Ekosystemy powstają przez wzajemne długotrwałe oddziaływanie fauny, flory, w pewnym rejonie, tworząc równowagę biologiczną. Dlatego należy bezwzględnie zadbać by wszelkie wyznaczone tereny istotne dla ochrony i rozwoju fauny i flory na lądzie i morzu pozostały nienaruszone ze szczególnym uwzględnieniem naturalnych siedlisk. Ekosystemy są również źródłem żywności, wody, regulatorem klimatu. Zakłady przemysłu jądrowego powinny być usytuowane, tak by ich wpływ radiologiczny i inny nie dewastował różnorodności biologicznej ekosystemu. Dotyczy to również towarzyszącej im infrastruktury.

Ogólnościowym problemem jest zauważalna zmiana klimatu. Energia jądrowa jest energetyką nisko-emisyjną, co może pomóc w ograniczeniu emisji gazów cieplarnianych. Spośród zakładów cyklu paliwowego elektrownia jądrowa wytwarza minimalną ilość gazów cieplarnianych i nie emituje dwutlenku węgla, kopalnie uranu, transport materiałów (w tym materiałów jądrowych), a także budowa infrastruktury są źródłami emisji różnych substancji. Uwzględniając zachodzące zmiany klimatu, zakłady przemysłu jądrowego powinny być odporne na anomalie pogodowe np. bardzo wysokie lub bardzo niskie temperatury, gwałtowne powodzie, huragany, fale tsunami, trzęsienia ziemi by ich uszkodzenie nie przyczyniło się do degradacji środowiska.

W tekście zaleceń ochrony środowiska tzw. strategiczna ocena oddziaływania na środowisko (*strategic environmental assessment – SEA*) zwraca się uwagę na zdrowie publiczne mające wtórny wpływ na środowisko, wymuszając stosowanie odpowiednich norm bezpieczeństwa. Dotyczy to bardzo wielu działań, począwszy od zaleceń bezpieczeństwa radiologicznego w różnych warunkach zagrożenia (w czasie działań rutynowych, działań w sytuacjach awaryjnych, wypadkach), zaleceń dotyczących dopuszczalnych poziomów wibracji i hałasu, poziomu emisji nieradiologicznych, zasad bezpieczeństwa i higieny pracy w różnych typach zakładów przemysłu jądrowego na różnych etapach od budowy do likwidacji. Zalecane jest prowadzenie badań epidemiologicznych pozwalających śledzić zdrowie fizyczne i psychiczne lokalnych populacji. Obawa ludzi przed energią jądrową może prowadzić do znacznych komplikacji zdrowotnych i społecznych, dlatego zalecane są również badania psychologiczne.

Ograniczenie wpływu energetyki jądrowej na środowisko, w czasie rutynowej pracy zakładów przemysłu jądrowego, polega na kontroli emisji radioaktywnych, w powietrzu, wodzie i glebie, zagospodarowaniu ciepła odpadowego, unieszkodliwianiu odpadów promieniotwórczych.

Emisje radioaktywne i ich kontrola

W czasie normalnej pracy, zmiana poziomu promieniowania wokół zakładów przemysłu jądrowego, nie może przekraczać 0,1 mSv/rok w odniesieniu do naturalnego promieniowania tła. W Polsce średnie promieniowanie tła wynosi 2,6 mSv/rok. Jest to podstawą do określania granicznych dopuszczalnych wielkości emisji substancji promieniotwórczych. Dopuszczalne wielkości emisji są ustalane indywidualnie dla każdego zakładu przemysłu jądrowego. Głównymi źródłami emisji są elektrownie jądrowe i zakłady przerobu paliwa. Gazowe, jak i ciekłe substancje radioaktywne powstające w wyniku procesów technologicznych są przesyłane do systemu oczyszczalni odpadów. Odpady gazowe po wysuszeniu i filtracji są uwalniane przez system wentylacyjny do atmosfery. Komin, przez który są one uwalniane, powinien być dostatecznie wysoki, by uzyskać znaczne rozproszenie gazów. Kontrola substancji gazowych jest przeprowadzana po każdym etapie techno-

logicznym oczyszczania. Co więcej, dla celów międzynarodowego systemu zabezpieczeń (*safeguards*), gazy uwolnione przez komin do atmosfery są sprawdzane w celu potwierdzenia, że prowadzona w zakładzie działalność jest zgodna z deklaracją i nie jest powiązana z zastosowaniami militarnymi.

Odpady gazowe powstają w trakcie pracy reaktora w wyniku reakcji jądrowych i aktywacji materiałów. Pręty paliwowe dla elektrowni jądrowych, w postaci rurki cyrkonowych, zawierają pastylki dwutlenku uranu (UO_2). Powstające wewnątrz prętów produkty rozszczepienia są w większości zatrzymywane wewnątrz prętów aż do ich otwarcia w zakładach przerobu. Zaobserwowano, że wydostają się one częściowo na zewnątrz w wyniku dyfuzji i mikronieszczelności do układu chłodzenia, gdzie mogą reagować z substancjami znajdującymi się w chłodziwie. Powstałe w układzie odpady chłodzenia są usuwane przez systemy przetwarzania odpadów ciekłych i gazowych. Poziomy promieniowania uwalnianych substancji są kontrolowane, tak by nie przekraczały dopuszczalnych granic.

Poziom emisji substancji radioaktywnych zależy od typu reaktora oraz od właściwości systemów oczyszczania. Uwalnianymi do atmosfery substancjami są głównie gazy szlachetne (^{133}Xe , ^{41}Ar), ^{16}N , ^{14}C , ^{35}S , pary trytu, cząstki stałe. Ilość niektórych z nich np. ^{14}C jest bardzo mała, ale ze względu na długi okres półroczu może mieć wpływ na skumulowany poziom promieniowania na powierzchni gleby. Podobnie uwalnianie trytu wymaga okresowej oceny wpływu jego na środowisko.

Tryt powstaje w elektrowni jądrowej przede wszystkim w wyniku rozpadu jądra uranu w przecie paliwowym, wychwyty neutronów przez jądra zanieczyszczeń i dodatków do chłodziwa boru, litu, amoniaku oraz aktywacji deuteru i wychwyty neutronów przez substancje stosowane w prętach regulacyjnych. Tylko niewielka część trytu powstałego w wyniku reakcji jądrowych w paliwie wydostaje się do atmosfery. Uranowe pastylki są zamknięte w prętach paliwowych. Prowadzone badania wskazują, że mogą zachodzić reakcje chemiczne pomiędzy materiałem, z którego wykonana jest koszulka – obudowa prętu paliwowego – stopy cyrkonu a produktami rozszczepienia między innymi z trytem. Możliwe jest również bezpośrednie przenikanie jąder trytu, jednakże znaczenie tego mechanizmu jest pomijalne. Bardziej znaczący jest przepływ trytu przez mikrootwory i drobne uszkodzenia struktury obudowy. Dlatego bardzo istotny jest dobór materiału obudowy prętu związany z systemem chłodzenia zależnym głównie od typu reaktora. Całkowita emisja produktów gazowych z elektrowni jest bardzo niska i musi być utrzymywana na takim poziomie by wraz z innymi uwolnieniami – opadami ciekłymi, nie przekraczała dopuszczalnego poziomu promieniowania.

Odpady ciekłe o potencjalnych właściwościach promieniotwórczych, które powstają w elektrowniach jądrowych, pochodzą przede wszystkim z dekontaminacji i prania odzieży, dekontaminacji pomieszczeń, narzędzi używanych np. w basenach wypalonego

paliwa, transporterów paliwa, plastikowych plandek ochronnych itp. Ponadto odpady ciekłe mogą pochodzić np. z zużytych płynów technicznych, chłodziw, olejów używanych w elektrowni, upustów, przecieków (dopuszczalnych) z obiegu chłodzenia rdzenia reaktora lub basenów wypalonego paliwa. Wszystkie te płyny zawierają drobiny substancji nieorganicznych, ciał stałych, np. piasku, metali, jak i drobin farb, proszków czyszczących itp. Po wstępnej selekcji, o której decyduje pochodzenie ścieków, są one kierowane do wyspecjalizowanych ciągów (kaskad) instalacji oczyszczających. Unieszkodliwianie radioaktywnych odpadów ciekłych w obiektach jądrowych jest wielostopniowe z wykorzystaniem filtracji, wytrącania, sorpcji, wymiany jonowej, parowania, separacji membranowej. Procesy oczyszczania mają na celu zmniejszenie objętości odpadów poprzez dalsze stężanie i odzyskanie wody. Odpady ciekłe w elektrowniach jądrowych zawierają materiały radioaktywne tryt, ^{137}Cs , ^{134}Cs , ^{131}I , ^{133}I , ^{58}Co i powstałe materiały aktywowane zawierające np. ^{51}Cr , ^{51}Mn . Znaczna część stężonych odpadów promieniotwórczych jest składowana na terenie elektrowni. Należy podkreślić, że każde przekroczenie obowiązujących standardów bezpieczeństwa lub procedur spowoduje uruchomienie wielu urządzeń zabezpieczających, które automatycznie wyłączą reaktor w przypadku poważnego zagrożenia.

Wypalone paliwo z reaktorów jądrowych jest najsilniejszym źródłem promieniowania w cyklu paliwowym i dlatego też standardy bezpieczeństwa i ochrony radiologicznej są w zakładach jego przerobu najbardziej restrykcyjne. Podstawowym zagrożeniem jest poziom promieniowania gamma emitowanego przez radioaktywne produkty rozszczepienia. W procesie przerobu paliwa odzyskiwane są przede wszystkim dwa pierwiastki – uran i pluton. Zakłady przerobu są dużymi zakładami chemicznymi, w których wszystkie procesy są zautomatyzowane i bardzo ściśle monitorowane (w tym przez zespoły międzynarodowe). Monitorowanie ma na celu nie tylko kontrolę techniczną, ale ma również zabezpieczać przed nieuprawnionymi działaniami dążącymi do pozyskiwania plutonu i uranu do zastosowań militarnych.

W procesie przerobu paliwa powstają odpady: ciekłe, gazowe oraz stałe, wysoko-, średnio-, bądź nisko-aktywne. Odpady wysokoaktywne po odpowiednim przetworzeniu są składowane w specjalnie wyznaczonych i przystosowanych do tego magazynach centralnych dla całego kraju.

W procesie przerobu wydobywane są użyteczne pierwiastki np. metale ziem rzadkich, (niektóre otrzymywane praktycznie tylko tą drogą). Wyodrębnione ^{137}Cs , ^{99}Te , ^{147}Sr są zagęszczane i magazynowane.

Unieszkodliwianie gazowych produktów rozszczepienia (^{85}Kr , ^{129}I), lotnych związków ^{14}C i trytu może być przeprowadzane różnymi metodami. Po oczyszczeniu mogą być one uwalniane do atmosfery, ale tak, by zachować obowiązujący dopuszczalny poziom promieniowania na zewnątrz zakładu lub mogą być zagęsz-

czane i składowane z odpadami wysokoaktywnymi. Tryt może być odprowadzany do wód gruntowych lub otwartych zbiorników wodnych. Spośród wszystkich zakładów przemysłu jądrowego największa koncentracja trytu występuje wokół zakładów przerobu paliwa.

Podstawowym radioaktywnym składnikiem ścieków jest woda trytowa T_2O ($^3\text{H}_2\text{O}$). Całkowite usunięcie jonów trytu przy zastosowaniu konwencjonalnych metod zagęszczania nie jest możliwe i są one podstawowym źródłem promieniowania w ściekach. Czas połowicznego rozpadu trytu wynosi 12,33 lat. Dlatego prowadzona jest obserwacja jego obecności rozprzestrzeniania się w środowisku przy różnych metodach unieszkodliwiania odpadów ciekłych.

Odprowadzenie ścieków do wód gruntowych zawierających materiały promieniotwórcze (tryt) poprzez specjalne studnie lub baseny należy do bardzo rzadkich metod pozbywania się odpadów. Jest to metoda wymagająca znacznego zaangażowania środków na badania hydrologiczne i geologiczne w celu ustalenia kierunków przepływu wód podziemnych i kosztownej okresowej kontroli skażeń ze szczególnym uwzględnieniem obszarów poboru wody pitnej.

Możliwe jest również odprowadzanie ścieków zawierających głównie tryt do wód powierzchniowych, ale wymaga to ich znacznego rozcieńczenia i jest wykorzystywane wówczas, gdy zakłady znajdują się w pobliżu dużych rzek, jezior lub morza. Ścieki radioaktywne są transportowane z obszaru procesu technologicznego do oczyszczalni ścieków, gdzie są oczyszczane, tak aby ich poziom aktywności spadł znacznie poniżej dopuszczalnych limitów emisji, przed ich uwolnieniem do systemu wodnego. Oczywiście konieczna jest również okresowa kontrola poziomu promieniowania ze względu na możliwą kumulację materiałów radioaktywnych.

W zależności od stosowanej technologii przerobu paliwa oraz jego ilości bardziej ekonomiczną metodą unieszkodliwiania odpadów zawierających tryt jest składowanie go w przechowalnikach odpadów wysokoaktywnych.

Ciepło odpadowe

Bardzo ważnym elementem ochrony środowiska jest zagadnienie odprowadzania niewykorzystanego do produkcji energii elektrycznej ciepła traktowanego jako odpad i nazywanego ciepłem odpadowym. W elektrowniach wykorzystujących paliwa kopalne znaczna ilość tego ciepła jest uwalniana przez komin wraz z produktami spalania. W elektrowniach jądrowych ciepło jest odprowadzane do zbiorników wodnych.

Jedynymi zakładami przemysłu jądrowego wytwarzającymi duże ilości ciepła odpadowego są elektrownie jądrowe. Systemy chłodzenia elektrowni wykorzystują duże objętości wody. Ciepło generowane przez elektrownię jądrową pochodzi z reakcji rdzenia oraz z basenów wypalonego paliwa. Obecnie stosowane są trzy metody usuwania ciepła z elektrowni jądrowych. Są one częściowo podobne do stosowanych w elektrowniach konwencjonalnych.

Pierwsza metoda to jednokrotny przepływ wody chłodzącej – obieg otwarty. Druga metoda opiera się na zamkniętym obiegu chłodzenia. Trzecia metoda to połączenie obu tych cyklów w tzw. systemie zmiennym.

Chłodzenie w obiegu otwartym polega na jednokrotnym przepływie przez chłodnice wody chłodzącej pobieranej z rzeki, jeziora, sztucznego zbiornika wodnego, morza. Elektrownie jądrowe pracujące w tym systemie chłodzenia są lokalizowane w pobliżu wielkich zbiorników wodnych. W celu uzyskania dobrej wydajności chłodzenia w tym systemie konieczne jest przepompowywanie przez układ wymienników ciepła ogromnych ilości wody. Woda ta nie ulega skażeniu w procesie wytwarzania energii elektrycznej, gdyż nie ma kontaktu z elementami radioaktywnymi.

Chłodzenie w obiegu zamkniętym wykorzystuje ciągłe schładzanie wody w wieżach chłodniczych lub basenach. Woda schłodzona w wieżach chłodniczych powraca do obiegu chłodzącego. Jej ubytki są kompensowane przez pobór wody ze zbiorników wodnych jezior lub rzek. Woda ta nie opuszcza elektrowni i w związku z tym nie ma potrzeby poddawaniu jej procesom oczyszczania. Nie ma ona kontaktu ze środowiskiem. Elektrownie, w których wykorzystywany jest ten system, są lokalizowane w rejonach z niedoborami wody.

System zmienny stanowi kombinację obu powyższych systemów. Należy podkreślić, że systemy usuwania ciepła stanowią wtórny obieg wodny nie mający kontaktu z substancjami promieniotwórczymi.

Woda przed wprowadzeniem jej do systemu chłodzenia jest filtrowana. Po przejściu wody chłodzącej przez chłodnicę jest ona odprowadzana, w systemie otwartym do środowiska, przy czym jej temperatura jest wyższa o 10–12 °C. W morzu i rzece cieplejsza woda zostanie rozproszona, powodując ewentualnie drobne zakłócenia w środowisku w pobliżu kanału wylotowego. Natomiast w sztucznych zamkniętych zbiornikach wodnych i jeziorach może spowodować podniesienie ich temperatury, wpływając w dłuższym czasie, w istotny sposób na ekosystem całego obszaru i nawet na mikroklimat. Podwyższenie temperatury wody w zbiornikach wodnych ma istotny wpływ na zawartość w niej tlenu decydującego o rozwoju fauny i flory. Prowadzone są próby ograniczenia ilości ciepła odpadowego przez zwiększenie sprawności elektrowni jądrowej, wprowadzenie nowych konstrukcji reaktorów. Pewną metodą ochrony zbiorników wodnych przed przegrzaniem są próby wydajniejszego chłodzenia wody w wieżach chłodniczych, basenach rozbryzgowych, chłodnicach powietrznych. W elektrowniach usytuowanych nad brzegami oceanów rozważana jest koncepcja poboru zimnej wody z dużych głębokości. Jednakże wywołane w ten sposób sztuczne prądy mogą mieć niszczący wpływ na środowisko w pobliżu elektrowni jądrowych. Należy podkreślić, że wykorzystanie wody do celów chłodniczych w elektrowniach ma również istotny wpływ na gospodarkę wodną dużych obszarów kraju i czynione są różne starania mające na celu zmniejszenie jej zużycia.

Nasuującym się rozwiązaniem ochrony środowiska przed przegrzaniem jest wykorzystanie ciepła odpadowego w ciepłownictwie komunalnym lub zastosowaniach przemysłowych. Pierwsze próby przeprowadzono w Szwecji i Szwajcarii. Jednak szersze wykorzystanie ciepła odpadowego w ogrzewaniu komunalnym w elektrowniach jądrowych jest utrudnione ze względu na ich oddalenie od dużych aglomeracji wynikające z przepisów bezpieczeństwa. W pewnych okolicach próbowano wykorzystywać ciepłą wodę w gospodarstwach rolnych, wydłużając okres wegetacyjny i zmniejszając skutki mrozów. Jest to jednak wykorzystanie sezonowe nie rozwiązujące istoty problemu.

Dodatkowym problemem w pozbywaniu się ciepła odpadowego są zmiany klimatyczne powodujące wyjątkowo niebezpieczne zjawiska pogodowe jak fale upałów, susze, obniżone lub silne i gwałtowne opady, huragany itd. co ma wpływ na pracę systemów chłodzących wykorzystujących wieże chłodnicze.

Unieszkodliwianie wypalonego paliwa

W zamkniętym cyklu paliwowym ok. 97% wypalonego paliwa wraca do elektrowni, a tylko 3% stanowi odpady wysokoaktywne.

Odpady promieniotwórcze powstają w każdym zakładzie cyklu paliwowego: w kopalniach rud uranu, zakładach ich przerobu, zakładach produkcji paliwa jądrowego i przerobu wypalonego paliwa, reaktorach energetycznych oraz innej działalności związanej z techniką jądrową eksploatacją reaktorów badawczych, likwidacją urządzeń jądrowych, wykorzystywaniem izotopów promieniotwórczych w przemyśle, medycynie, badaniach naukowych i innych dziedzinach, jak również likwidacji skutków wypadków jądrowych. Tak wielka różnorodność powstałych odpadów wymaga wprowadzenia ich klasyfikacji. Najczęściej stosowanym kryterium jest postać fizyczna odpadów i ich aktywność promieniotwórcza. Odpady mogą być w stanie stałym, ciekłym i gazowym o aktywności niskiej, średniej i wysokiej. Oczywiście różnią się one również właściwościami fizycznymi przede wszystkim rodzajem promieniowania i czasem półrozpadu itd.

Opady promieniotwórcze są w zakładach unieszkodliwiania odpadów sortowane i przetwarzane do postaci umożliwiającej ich długotrwałe przechowywanie. Wszystkie odpady selekcionowane są według aktywności. Wypalone paliwo jest odpadem wysokoaktywnym wymagającym szczególnie długiego procesu przygotowawczego do składowania. Wynika to przede wszystkim z konieczności „schłodzenia” wyjętego z reaktora paliwa. Jest ono przechowywane ok. 10 lat w basenie, w tym czasie spada jego aktywność i ciepło. Woda w basenie działa jako osłona przed promieniowaniem i chłodzi paliwo. Następnie przed ostatecznym przetransportowaniem do zakładów może być jeszcze magazynowane w suchym przechowalniku.

Podstawowym celem unieszkodliwiania odpadów jest utworzenie szklanego systemu barier izolującego odpady radioaktywne od biosfery.

System barier izolujących jest dopasowywany do rodzaju odpadów ich postaci fizycznej, aktywności czasu,

półrozpadu, przewidywanego zagrożenia dla ludzi i środowiska z uwzględnieniem potencjalnej toksyczności. Najwięcej barier wymagają odpady wysokoaktywne. Dla odpadów niskoaktywnych wymagania są znacznie łagodniejsze. Poziom promieniowania na zewnątrz przechowalników odpadów podobnie, jak dla wszystkich zakładów przemysłu jądrowego, zlokalizowanych na ogół pod ziemią, nie może przekraczać 0,1 mSv /rok.

Izolacja odpadów radioaktywnych polega głównie na uniemożliwieniu rozpraszania się materiałów promieniotwórczych, odseparowania ich od działania wody (wymywania, powstawania reakcji chemicznych). Dla łatwiejszego osiągnięcia tych celów i zaoszczędzenia powierzchni składowania, koncentracja odpadów powinna być jak największa w jak najmniejszej objętości odpadów. System barier zabezpieczających odpady przed kontaktem z biosferą jest kilku stopniowy. Zanim odpady zostaną zapakowane do pojemników do przechowywania, ich objętość zostanie zmniejszona za pomocą różnych metod, np. cięcie mechaniczne lub termiczne, ściskanie.

Tak przygotowane odpady są zatapiane w trudno rozpuszczalnych związkach chemicznych, co zapobiega rozsypaniu, rozproszeniu, rozpyleniu i wymywaniu substancji promieniotwórczych. Najczęściej używaną substancją jest szkło. Proces witrażowania – zatapiania w szkło tworzy bardzo trwałe, odporne na wymywanie i chemikalia łatwe do składowania bloki zwykle cylindryczne. Jest to metoda stosowana przede wszystkim dla składowania odpadów wysokoaktywnych. Innym spoiwem może być beton spełniający jednocześnie rolę osłony biologicznej, a także asfalt, polimery, ceramika.

Zestalone odpady wysokoaktywne są zabezpieczane przed uszkodzeniami mechanicznymi, działaniem czynników atmosferycznych i kontaktem z wodą przez cylindryczne hermetyczne opakowanie metalowe wykonane z miedzi lub ze stali nierdzewnej. W niektórych składowiskach (Finlandia) bardzo odporna na działanie substancji w wodach podziemnych miedź jest ze względu na zwiększenie odporności mechanicznej wzmocniona obudową stalową. Miedziane pojemniki z odpadami, mają być otoczone gliną bentonitową i osadzone w otworach wywierconych głęboko w skale. Gлина bentonitowa ma dodatkowe działania ochronne pełniąc rolę amortyzatora w przypadku drgań lub pęknięć skały, jak i również stanowi ochronę przed wodą. Obudowy metalowe są cylindryczne (beczki) i mają znormalizowane wymiary.

Beczki z odpadami wysokoaktywnymi są umieszczane w betonowych silosach obudowanych stalą nierdzewną. Betonowa konstrukcja składowiska stanowi dodatkowe zabezpieczenie przed czynnikami atmosferycznymi, korozją i wyciekami substancji promieniotwórczych.

Przed zamknięciem składowiska wykonywana jest dodatkowa wodoszczelna pokrywa wielowarstwowa, w celu ograniczenia dostępu wody, spowolnienia korozji opakowań i wymywania substancji promieniotwórczych. Jest to szczególnie istotne dla płytkich składowisk. Nieco inne są wymagania dla składowisk głębokich 500 – 900 m pod ziemią, w których przecho-

wywane są odpady wysokoaktywne. Tutaj zagrożeniem nie są opady, ale podziemne ciekły wypływające na powierzchnię szczególnie do miejsc poboru wody do celów spożywczych. Dlatego dla składowiska tego typu odpadów wybór lokalizacji musi być szczególnie dokładnie przebadany z uwzględnieniem nawet niewielkich możliwych wstrząsów sejsmicznych.

Lokalizacja składowiska dla każdego rodzaju odpadów musi spełniać wszystkie wymagania ochrony środowiska ze szczególnym uwzględnieniem warunków geologicznych, hydrologicznych.

Przy wzrastającej produkcji energii elektrycznej ograniczenie jej wpływu na środowisko stanowi jedno z ważniejszych zadań współpracy międzynarodowej. Państwa nie są odizolowane od siebie i działania jednego kraju mogą doprowadzić do szkód środowiskowych w sąsiednim. Dlatego bardzo ważne jest stosownie przyjaznych dla środowiska metod pozyskiwania energii elektrycznej.

Wzrastające zapotrzebowanie na tanią energię elektryczną będzie wymuszało dalszy rozwój energetyki jądrowej, która jest przyjazna dla środowiska naturalnego. Energetyka jądrowa jest praktycznie energetyką bezemisijną. Jedynym trudnym do usunięcia odpadem mającym lokalny niewielki wpływ na środowisko jest ciepło odpadowe. Jeśli ciepło odpadowe zostanie wykorzystane ograniczy ten wpływ jeszcze bardziej. Należy podkreślić, że przemysł jądrowy jest jednym z bardzo niewielu gałęzi przemysłu unieszkodliwiającym i magazynującym swoje odpady.

Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów na
Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa

Literatura:

- [1] IAEA, *Regulatory Control of Radioactive Discharges*, Safety Standards, No. GSG -9
- [2] IAEA, *Strategic Environmental Assessment For Nuclear Power Programmes*, No. NTG -3.17, <http://www.iaea.org/Publications/index.html>
- [3] Strupczewski Andrzej, *Nie bójmy się energetyki jądrowej* COSiW SEP, SEREN 2010 Warszawa
- [4] El-Hnnawi Essam E, *Review of the Environmental Impact of Nuclear Energy*, IAEA Bulletin-Vol.20, No.2
- [5] Peterson H.T., *Environmental Tritium Contamination from Increasing Utilization of Nuclear Energy*, Kongres Jointnt Committee on Atomic Energy 28 X – 7 XI Paris 1969
- [6] Korhonen Janne M., Partenen Rauli, *Klimatyczn Ruletka*, Wydawnictwo IZE 2018
- [7] Dobrzańska B., Dobrzański G., Kielczewski D., *Ochrona środowiska przyrodniczego*, PWN Warszawa 2009
- [8] Włodarski Janusz, *Unieszkodliwianie odpadów promieniotwórczych – perspektywy dla energetyki jądrowej*, http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/zal2/CD_II_SZKOLA/II.%20CYKL_PALIWOWY/6
- [9] Rzymkowski Krzysztof, *Energetyka jądrowa i środowisko*, PTJ Nr 3 Vol. 53 Z3 2010
- [10] Rzymkowski Krzysztof, *Postępowanie ze skażoną wodą w elektrowniach jądrowych* PTJ Nr 3 Vol. 54 Z.3 2011 Warszawa

ROZPOZNAWANIE CZĘŚCIOWEGO NAPROMIENIENIA CIAŁA PRZY POMOCY TESTU MIKROJĄDROWEGO

Recognition of partial body irradiation using a micronucleus test

Sylwester Sommer, Iwona Buraczewska, Marcin Kruszewski

Streszczenie: Dozymetria biologiczna oprócz oszacowania wysokości dawki powinna mieć możliwość rozpoznawania czy napromienione zostało całe ciało, czy tylko jego część. Bardzo dobrze sprawdza się tutaj test chromosomów dicentrycznych, jednak prowadzone są prace również z innymi testami dozymetrycznymi. Wyniki badań wskazują, że test mikrojądrowy nie pozwala jednoznacznie na rozpoznawanie częściowego napromienienia ciała.

Summary: Biological dosimetry in addition to the estimation of the absorbed dose should be able to recognize whole or partial body irradiation. The dicentric chromosome test works very well here, however, other dosimetry tests are being examined to recognize partial body irradiation. The research results indicate that the micronucleus test does not explicitly allow the recognition of such a situation.

Słowa kluczowe: dozymetria biologiczna, częściowe napromienienie ciała, analiza chromosomów dicentrycznych, test mikrojądrowy

Keywords: biological dosimetry, partial body irradiation, dicentric analysis, micronucleus test

Wstęp

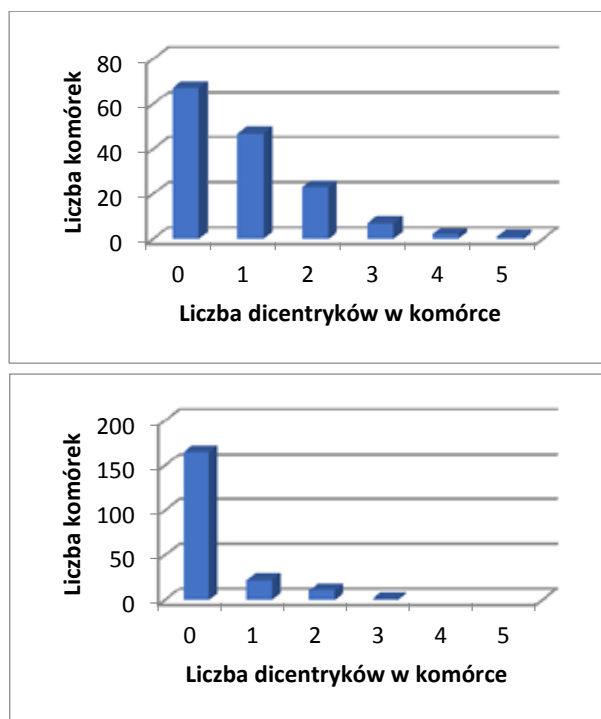
Ostra choroba popromienna rozwija się u osób napromienionych dużymi dawkami promieniowania, wielkości siwertów [1]. O tym, czy choroba popromienna się rozwinie, jaki będzie jej przebieg i jakie będą jej konsekwencje zdrowotne dla osoby napromienionej, decyduje wielkość pochłoniętej dawki promieniowania i jej rozkład w obrębie organizmu [2]. Jeżeli napromieniona została tylko część ciała, to rokowania są znacznie lepsze, niż dla równomiernego napromienienia całego ciała [2]. Jest tak dlatego, że jednym z najbardziej wrażliwych na promieniowanie organów jest szpik kostny, który odpowiada za produkowanie i dojrzewanie elementów morfotycznych krwi. Szpik kostny znajduje się w środku kości długich i kości płaskich, dzięki temu jest równomiernie rozłożony w całym ciele. Jeżeli część ciała nie zostanie napromieniona lub zostanie napromieniona niższą dawką, to część szpiku będzie działała i przejmie funkcję napromienionego szpiku do czasu jego regeneracji.

Dozymetria biologiczna pozwala na odtworzenie dawki pochłoniętej w organizmie człowieka na podstawie zmian molekularnych i morfologicznych w limfocytach krwi obwodowej. Limfocyty są dobrym materiałem na osobisty dozymetr, ponieważ łatwo się je pobiera i krążąc po całym ciele „mieszają się”, co powoduje, że bez względu na to, jaka część ciała zostanie napromieniona, to limfocyty tam będą i część z napromienionych limfocytów znajdziemy w próbce krwi.

Analiza chromosomów dicentrycznych pozwala rozpoznać nierównomierne napromienienie

Żeby dobrze przewidzieć jak dana dawka będzie działała na organizm, potrzebne jest ustalenie (oprócz

wysokości dawki), czy napromieniono całe ciało mniej więcej równomiernie, czy tylko jego część. Test chromosomów dicentrycznych, będących złotym standardem dozymetrii biologicznej, bardzo dobrze nadaje się do rozróżnienia całkowitego i częściowego napromienienia ciała. Analizuje się rozkład chromosomów dicentrycznych pomiędzy komórkami (rys. 1). Jeżeli ten rozkład jest zgodny z rozkładem Poissona to mamy do czynienia z równomiernym napromienieniem ciała (rys. 1, wykres górny) [3]. Jeżeli rozkład chromosomów dicentrycznych pomiędzy komórkami odbiega od rozkładu Poissona, to ciało zostało napromienione nierównomiernie (rys. 1, wykres dolny). Dlaczego tak się dzieje? Otóż, gdy wszystkie limfocyty zostały napromienione, to aberracje rozkładają się pomiędzy nimi zgodnie z rachunkiem prawdopodobieństwa zobrazowanym rozkładem Poissona [3]. Jednak gdy w naszej próbce znajdują się komórki, które nie zostały napromienione, to nie będą one miały aberracji. Jeżeli obie populacje limfocytów: napromienione i nienapromienione wymieszamy, to skutkiem tego częstość komórek bez aberracji będzie znacząco większa i nie będzie pasowała do rozkładu Poissona (rys. 1, wykres dolny). Taką sytuację można modelować matematycznie wykorzystując cechy funkcji u , która pozwala określić, czy rozkład jest zgodny z rozkładem Poissona. Jeżeli funkcja u przyjmuje wartości pomiędzy $-1,96$ a $+1,96$, to rozkład jest zgodny z rozkładem Poissona [4, 5]. Na przykład dla rozkładów pokazanych na rys. 1 wartości funkcji u wynoszą: dla górnego wykresu $u = 1,57$, a więc równomierne napromienienie całego ciała, a dla dolnego wykresu $u = 3,48$, a więc napromienienie rozłożone nierównomierne.



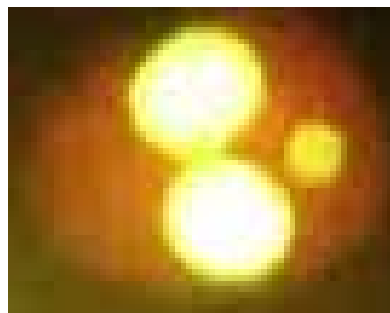
Rys. 1. Rozkład chromosomów dicentrycznych między komórkami po dawce 4 Gy promieniowania X (górny) i w przypadku próbki symulującej częściowe napromienienie ciała (składającej się z mieszaniny nienapromienionych komórek – 50% i komórek napromienionych 4 Gy promieniowania X – 50%; dolny wykres)

Fig. 1. Distribution of dicentric chromosomes among cells after uniform dose of 4 Gy of X-rays (upper graph) and in the case of a sample simulating partial body irradiation (consisting of a mixture of non-irradiated cells – 50% and irradiated cells 4 Gy of X-rays – 50%; lower graph)

Jeżeli stwierdzimy nierównomierne napromienienie ciała, to można obliczyć jaką część komórek została napromieniona i jak się to przekłada na napromienioną część ciała. Znane są trzy matematyczne sposoby takich obliczeń: tzw. „Contaminated Poisson Method” – zaproponowana przez Dolphina (1969) [6], metoda Qdr zaproponowana przez Sasaki i Miyata (1968) [7] oraz metoda oparta na statystyce bayesowskiej – „ZIP Bayesian method” opracowana przez Higuera i innych (2016) [8].

Test mikrojądrowy a rozpoznawanie częściowego napromienienia ciała

Inne metody cytogenetyczne czy molekularne nie pozwalają na wiarygodne odróżnienie napromienienia całego ciała od napromienienia częściowego, chociaż prowadzone są w tym kierunku badania [9, 10]. Jedną z technik, która mogłaby być również użyta jest analiza częstości mikrojąder. Mikrojądra są to fragmenty chromatyny widoczne w cytoplazmie komórki (fot. 1), które powstają w wyniku działania promieniowania lub czynników chemicznych [11]. Ich rozkład między komórkami jest naddyspersyjny, czyli współczynniki u są większe niż 1,96 [2].



Fot. 1. Dwujędrzasty limfocyt ludzki z widocznym w cytoplazmie mikrojądrem. Barwienie oranżem akrydyny: cytoplazma komórki wybarwiona na czerwono-brązowo, materiał genetyczny na jaskrawo żółto

Photo 1. Binucleated lymphocyte with a micronucleus visible in the cytoplasm. Acridine orange staining: cell cytoplasm stained red-brown, genetic material bright yellow

W pracy Senthamizhchelvana z 2009 r. badano rozkład mikrojąder między limfocytami u pacjentów poddanych paliatywnej radioterapii jedną dawką wysokości 8 Gy na klatkę piersiową [12]. U każdego z 7 pacjentów wartości funkcji u dla rozkładu mikrojąder były bardzo wysokie, od 39,0 do 43,4 pokazując według autorów nierównomierne napromienienie ciała. Odtworzone wartości dawki promieniowania były lekko niedoszacowane, w granicach 6 Gy na część ciała (w rzeczywistości 8 Gy). Otrzymane rezultaty mogą sugerować przydatność metody mikrojądrowej do odróżnienia napromienienia całego ciała od napromienienia jego części oraz do szacowania dawki w takim scenariuszu napromienienia. Jednak prace Theirensa (2005 i 2014), wcześniejsza o biodozymetrii u ofiary wypadku radiacyjnego wykonywanej różnymi metodami (również testem mikrojądrowym) i późniejsza opisująca rezultaty współpracy laboratoriów europejskich w ramach projektu MULTIBIO-DOSE, w dziedzinie testu mikrojądrowego, nie potwierdziły przydatności tego testu ani do rozpoznawania częściowego napromienienia, ani do odtworzenia dawki w napromienionej części ciała [13, 14].

W ramach projektu NCBiR „Opracowanie wieloparametrowego testu „triage” do oceny narażenia ludności na promieniowanie jonizujące” (2009–2014) badano w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej przydatność testu mikrojądrowego do rozpoznawania częściowego napromienienia ciała. Uzyskane wyniki (Tabela 1 – prezentuje wyniki eksperymentu na krwi jednej osoby. Analogiczne eksperymenty powtórzone 3-krotnie, uzyskując podobne dane) pokazują, że test mikrojądrowy nie może być raczej stosowany do rozpoznawania napromienienia części ciała. Dla niektórych dawek promieniowania zarówno dla próbki całkowicie napromienionej, jak i symulującej częściowe napromienienie wartości funkcji u, obliczone dla ręcznych ocenianych mikrojąder, były niższe lub zbliżone do 1,96. Na podstawie różnic w ich wielkości nie dało się rozpoznać częściowego napromienienia ciała. Wysokie wartości u (oznaczone kolorem żółtym w tabeli) uzyskano tylko dla wysokiej dawki 7 Gy oraz gdy wysokimi dawkami napromieniona była część limfocytów (0/4 Gy i 0/7 Gy). W przypadku półautomatycznego liczenia mikrojąder wartości funkcji u były wyższe niż w przypadku liczenia ręcznego i zasadniczo były podobne

dla całkowitego napromienienia i symulacji częściowego napromienienia. Jedynie sytuacja, kiedy część krwi została napromieniona wysoką dawką promieniowania, rzędu 4–7 Gy, da się rozpoznać: przy stosunkowo niewysokiej częstości mikrojader (100 – 200 na 1000 komórek) współczynniki funkcji u są bardzo wysokie (od 17 do nawet 66). Należy podkreślić,

że otrzymane wyniki są zgodne zarówno z pracami Senthamizhchelvana (2009), który właśnie opisuje sytuację bardzo wysokiej dawki na część ciała, jak i Thierensa (2005 i 2014), który poddaje w wątpliwość przydatność testu mikrojadowego do rozpoznawania częściowego napromienienia ciała w niższym przedziale dawek [12, 13 i 14].

Tabela 1. Częstości mikrojader indukowanych promieniowaniem X w próbce krwi jednego dawcy, liczone ręcznie i pół-automatycznie. Próbkę krwi albo były napromienione całkowicie, albo dla symulacji napromieniania części ciała mieszano napromienione i nienapromienione próbki krwi w proporcji 50% / 50%. Z rozkładów mikrojader obliczono wartości funkcji u . Okazało się, że w większości przypadków rozkład mikrojader nie jest zgodny z rozkładem Poissona (kolor pomarańczowy, wartości u powyżej 1,96). Na żółto zaznaczono przypadki z bardzo wysokimi wartościami funkcji u

Table 1. Frequencies of X-ray induced micronuclei in blood sample of one donor, manual and semi-automatic scoring. The blood samples were either uniformly irradiated or mixtures of irradiated and non-irradiated blood samples in a 50% / 50% proportion, simulating partial body irradiation were analyzed. Function u values were calculated for micronucleus distribution for each experimental point. It turned out that in most cases the distribution of micronuclei is not consistent with the Poisson distribution (orange color, u values higher than 1.96). Yellow cases with very high u function values are marked

Liczenie ręczne				Liczenie semi-automatyczne			
Dawka (Gy)	Liczba zliczonych komórek	Częstość Mn / 1000 komórek	Wartości funkcji u	Dawka (Gy)	Liczba zliczonych komórek	Częstość Mn / 1000 komórek	Wartości funkcji u
0	1000	20	1,86	0	3926	23	16,40
0,2	1000	26	1,18	0,2	3819	18	10,88
0,5	1000	42	1,23	0,5	3922	35	7,62
0,8	1000	80	2,16	0,8	4275	47	10,17
1	1000	96	0,67	1	3497	61	8,74
2	1000	316	2,87	2	2809	160	10,56
4	1003	736	3,88	4	4102	536	26,02
7	1010	1063	12,50	7	1709	696	24,49
12	-	-	-	12	1497	307	57,12
0/0,5	1000	39	1,46	0/0,5	3870	25	8,93
0/1	1000	54	2,99	0/1	3960	43	8,60
0/2	1000	135	1,32	0/2	3705	84	12,17
0/4	1000	185	17,80	0/4	4388	99	41,82
0/7	1000	148	22,48	0/7	3549	98	66,27

Wnioski:

1. Test mikrojadowy nie pozwala jednoznacznie określić, czy mamy do czynienia z całkowitym, czy częściowym napromienieniem ciała.
2. Analiza chromosomów dicentrycznych nadaje się do tego celu znacznie lepiej, co jest jej niewątpliwą przewagą nad testem mikrojadowym.

Podziękowanie:

Praca powstała w wyniku realizacji projektu POIG 1.3.1 „WNPDOIG.01.03.01-14-054/09 „Opracowanie wieloparametrowego testu triage do oceny narażenia ludności na promieniowanie jonizujące” finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Sylwester Sommer,
Iwona Buraczewska,
Marcin Kruszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura:

- [1] E. J. Hall, A. J. Giaccia. Radiobiology for the radiologist 7th ed. LIPPINCOTT WILLIAMS & WILKINS, a WOLTERS KLUWER, Philadelphia USA, (2012);
- [2] IAEA, „Cytogenetic Dosimetry: Applications in Preparedness for and Response to Radiation Emergencies,” EPR-Biodosimetry, Wiedeń, (2011);
- [3] A. A. Edwards, D. C. Lloyd, R. J. Purrot. Radiation induced chromosome aberrations and the Poisson distribution, Radiat. Environ. Biophys. 16 (1979) 89–100;
- [4] C. R. Rao, I. M. Chakravarti. Some small sample tests of significance for a Poisson distribution, Biometrics 12 (1956) 264–282;

- [5] J. R. K. Savage. Sites of radiation induced chromosome exchanges, Curr. Top. Radiat. Res. 6 (1970) 129–194;
- [6] G. W. Dolphin. “Biological dosimetry with particular reference to chromosome aberration analysis. A review of methods”, Handling of Radiation Accidents (Proc. Int. Symp. Vienna, 1969), IAEA, Vienna (1969), 215–224;
- [7] M. S. Sasaki, H. Miyata. Biological dosimetry in atom bomb survivors, Nature 220 (1968) 1189–1193;
- [8] M. Higuera, P. Puig, E. A. Ainsbury, V. A. Vinnikov and K. Rothkamm. A new bayesian model applied to cytogenetic partial body irradiation estimation. Radiation Protection Dosimetry (2016), Vol. 168, No. 3, pp. 330–336;
- [9] A. Duran, J. F. Barquinero, M. R. Caballín, M. Ribas, P. Puig, J. Egozcue, L. Barrios. Suitability of FISH painting techniques for the detection of partial-body irradiations for biological dosimetry. Radiat Res. (2002) Apr;157(4):461-8;
- [10] A. Lamkowski, F. Forcheron, D. Agay, E. A. Ahmed, M. Drouet, V. Meineke, H. Scherthan. DNA damage focus analysis in blood samples of minipigs reveals acute partial body irradiation. PLoS One. 2014 Feb 3;9(2):e87458;
- [11] M. Fenech, “The in vitro micronucleus technique”, Mutation Research 455, pp. 81–95, 2000;
- [12] S. Senthamizhchelvan, G. S. Pant, G. K. Rath, P. K. Julka, O. Nair. Biodosimetry using micronucleus assay in acute partial body therapeutic irradiation. Physica Medica (2009) 25, 82–87;
- [13] H. Thierens, K. De Ruyck, A. Vral, V. de Gelder, C. A. Whitehouse, E. J. Tawn, and I. Boesman. Cytogenetic biodosimetry of an accidental exposure of a radiological worker using multiple assays. Radiat. Prot. Dosim. 113, 408–414 (2005);
- [14] H. Thierens, A. Vral, C. Vandevoorde, V. Vandersickel, V. de Gelder, H. Romm, U. Oestreicher, K. Rothkamm, S. Barnard, E. Ainsbury, S. Sommer, C. Beinke and A. Wojcik. Is a semi-automated approach indicated in the application of the automated micronucleus assay for triage purposes? Radiation Protection Dosimetry (2014), Vol. 159, No. 1–4, pp. 87–94;

RADIOLIZA BIODEGRADOWALNYCH PIANEK PLA/PCL

Radiolysis of PLA /PCL biodegradable foams

Wojciech Głuszewski

Streszczenie: Degradacja polimerowych tworzyw komórkowych do nietoksycznych produktów jest warunkiem koniecznym w przypadku wielu materiałów medycznych. Duże nadzieje w wytwarzaniu np. trójwymiarowych porowatych scaffoldów wiąże się z biodegradowalnymi polimerami a w szczególności polilaktydem (PLA) oraz polikaprolaktonem (PCL). Wygodnym sposobem kontroli czasu ich degradacji jest wykorzystanie indukowanego promieniowaniem jonizacyjnym zjawisk postradiacyjnego utleniania. W artykule zaproponowano wykorzystanie do badań radiolizy biodegradowalnych polimerów chromatografii gazowej i DRS.

Abstract: Degradation of polymeric cellular materials to non-toxic products is a desirable phenomenon in many medical materials. High hopes for the production of e.g. three-dimensional porous spheres are associated with biodegradable polymers, in particular polylactide (PLA) and polycaprolactone (PCL). A convenient way to modify and control degradation can be postradiation oxidation induced by ionizing radiation. The article draws attention to the possibility of using for radiolysis of biodegradable polymers of gas chromatography and DRS.

Słowa kluczowe: radioliza polimerów, pianki, PLA, PCL, biodegradacja, DRS

Keywords: radiolysis of polymers, foams, PLA, PCL, biodegradation, DRS

Wstęp

Działając promieniowaniem jonizującym na tworzywa sztuczne, można w stosunkowo prosty sposób wygenerować na łańcuchach polimerowych wolne rodniki. Towarzyszy temu w przypadku poliolefin i polimerów naturalnych oderwanie atomu wodoru, który w postaci cząsteczkowej bezpowrotnie opuszcza materiał. Gdyby radiolizie poddać teflon lub polichlorek winylu to produktami gazowymi będą odpowiednio fluor i chlor. W obecności powietrza rodniki są natychmiast atakowane przez tlen, tworząc rodniki nadtlenkowe, które zapoczątkowują procesy oksydegradacji [1]. W przypadku wielu polimerów dochodzi również do rekombinacji makrorodników z wytworzeniem wiązań poprzecznych. Ogólnie sieciowanie konkuruje o wolne rodniki z tlenem [2]. Zjawiskami tymi zajmowano się początkowo głównie z punktu widzenia sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych jednorazowego użytku, implantów chirurgicznych oraz opakowań. Postradiacyjne utlenianie było niepożądane, obniżało właściwości mechaniczne produktów [3]. Dobrym przykładem jest polipropylen (PP), który ze względu na zawadę przestrzenną grupy metylowej w odróżnieniu od polietylenu praktycznie nie sieciuje w atmosferze powietrza, ale ulega łańcuchowemu utlenianiu. Pierwotny rodnik nadtlenkowy odrywa atom wodoru z innego miejsca polimeru, tworząc wodoronadtlenek i kolejny makrorodnik, który znowu przyłącza tlen itd. Z tego powodu handlowy PP nie nadaje się do produkcji sterylizowanych radiacyjnie strzykawek jednorazowego użytku. W naszym kraju producenci polipropylenowych utensyliów do wyjaławiania stosują nadal toksyczny i kancerogenny tlenek etylenu. Temat lepszych, tańszych odmian odpornych radiacyjnie polimerów na bazie PP jest, więc nadal aktualny.

Radioliza tworzyw biodegradowalnych

W przypadku materiałów biodegradowalnych wpływ dawki promieniowania na wydajność postradiacyjnego utleniania można wykorzystać praktycznie. W prosty sposób jesteśmy w stanie przyspieszać i kontrolować degradację polimeru, łącząc to np. ze sterylizacją wyrobów medycznych. Nie bez znaczenia jest również możliwość radiacyjnej modyfikacji właściwości powierzchniowych polimerów. Odpowiedzialne za to są grupy hydrofilowe powstające na powierzchni tworzyw sztucznych w wyniku przyłączenia do rodników tlenu.

Leczenie ubytków tkanek z wykorzystaniem produktów inżynierii tkankowej (rusztowań tkankowych) jest stosunkowo nowym rozwiązaniem w dziedzinie medycyny regeneracyjnej. Jej celem jest odtwarzanie funkcji uszkodzonych struktur organizmu. Inżynieria tkankowa zakłada wykorzystanie macierzystych komórek pacjenta (pozyskanych na przykład ze szpiku kostnego lub tkanki tłuszczowej), zasiedlenie nimi wytworzonego rusztowania (stanowiącego szkielet dla namnażających się komórek) i wszczepienie całej struktury (rusztowania porośniętego komórkami) w miejsce zmienionej chorobowo lub usuniętej tkanki. Duże nadzieje w wytwarzaniu trójwymiarowych porowatych scaffoldów wiąże się z biodegradowalnymi polimerami a w szczególności polilaktydem (PLA) oraz polikaprolaktonem (PCL). Inżynieria tkankowa ma dostarczać zindywidualizowane wszczepy wytworzone na bazie komórek pacjenta, co zapewnia lepszą reakcję organizmu na terapię i skuteczniejsze leczenie. Inne ich potencjalne zastosowania w medycynie to: bioresorbowalne implanty i szwy wchłanialne, klamry, klipsy, maski chirurgiczne, opatrunki, kompresy, odzież personelu medycznego, produkty farmaceutyczne oraz materiały higieny osobistej.

Pianki PLA/PCL

Jednym ze sposobów nadawania tworzywom nowych właściwości użytkowych i technologicznych jest proces spieniania. Prowadzi on do zmniejszenia masy wyrobu, zwiększenia jego elastyczności, ograniczenia kosztów i materiałów, polepszenia właściwości tłumiących (ciepło, hałas). W początkowym etapie procesu porowania chemicznego do wytłaczarki wprowadza się mieszaninę poroforu i granulatu polimeru. W układzie uplastyczniającym, dzięki doprowadzonemu ciepłu dochodzi do rozkładu środka spieniającego, w wyniku którego wydzielają się np. azot i dwutlenek węgla. Powstałe gazy ulegają rozproszeniu w stopionym polimerze. Przedmiotem naszych badań były materiały komórkowe (pianki) otrzymywane na bazie biodegradowalnych poliestrów typu PLA/PCL o składzie podanym w tabeli 1. Do spieniania folii używano endotermiczny środek porotwórczy o handlowej nazwie Maxithiene BIOL7DA1000TR. Producent nie zdradza dokładnego składu poroforu, co nieco komplikuje interpretację wyników badań.

Tabela 1. Skład mieszanek używanych do produkcji materiałów komórkowych dla potrzeb medycznych

Table 1. The composition of films used to produce cellular materials for medical purposes

%PLA	%PCL	% poroforu
100	0	0
81	15	4
86	10	4
91	5	4
96	0	4

Podstawowe właściwości PCL: Moduł Younga 0,4 GPa; Granica plastyczności 4–25 MPa; Czas degradacji całkowitej >2–3 lat; Temperatura topnienia 55–65°C; Temperatura zeszklenia -60°C; charakter hydrofobowy; Wysoka rozpuszczalność w rozpuszczalnikach organicznych w temperaturze pokojowej; Zdolność do tworzenia mieszanin z różnymi polimerami.

Podstawowe właściwości PLA: otrzymywany jest z surowców odnawialnych, ulega biodegradacji w okresie od 6 do 24 miesięcy. Stopień krystaliczności zależy od masy cząsteczkowej i warunków przetwarzania polimeru. Temperatura topnienia jest w przybliżeniu równa 175°C. Tworzywo charakteryzuje się bioresorbowalnością, dzięki czemu znajduje zastosowanie m.in. w przemyśle opakowaniowym i medycynie. Zastosowanie PLA początkowo ograniczało się do sektora biomedycznego ze względu na wysoki koszt i stosunkowo małą masę cząsteczkową. Obecnie możliwa jest ekonomiczna produkcja PLA o dużej masie cząsteczkowej przy zachowaniu dobrych właściwości mechanicznych, termicznych i przetwórczych.

Warto dodać, że jednym ze sposobów modyfikacji tworzyw biodegradowalnych jest sieciowanie, które

przyczynia się do zmiany właściwości fizycznych tworzywa, takich jak: lepkość, krystaliczność, temperatura przejścia szklanego, temperatura topnienia czy uduchność. W tradycyjnej metodzie chemicznego sieciowania PLA dodatek nadtlenu dikumylu (w ilości ok. 5%) powoduje degradację PLA na skutek redukcji grup karbonylowych i eterowych. Interesującą alternatywą są więc metody radiacyjnego sieciowania.

Degradacja pianek PLA/PCL

Degradacja polimerowych rusztowań do nietoksycznych produktów jest zjawiskiem pożądanym i następuje przez hydrolizę, a jej czas zależy od: składu chemicznego, konfiguracji struktury, sposobu przetwarzania materiału, masy molowej, czynników środowiskowych, naprężenia, odkształcenia, krystaliczność a głównie od masy cząsteczkowej tworzywa. W grupie alifatycznych poliestrów PLA degraduje znacznie szybciej od PCL. Kontrolowany proces degradacji wszczepianego materiału do żywego organizmu jest jednym z najważniejszych zagadnień, nad którym ciągle prowadzone są prace badawcze. W naszych pracach zwrócono uwagę na radiolizę pozostałości poroforu użytego do spieniania folii polimerowych PLA/PCL. Temat jest interesujący zarówno z punktu widzenia celowej modyfikacji właściwości materiału, jak i zmian zachodzących w gotowym wyrobie w wyniku radiacyjnej sterylizacji.

Wyniki

Wstępnie za pomocą chromatografii gazowej (GC) zbadano ilości radiolitycznie wydzielanego wodoru i pochłoniętego tlenu po napromieniowaniu pianek szybkimi elektronami (EB). Wyższe wydajności wydzielania wodoru (większą liczbę rodników) uzyskano dla materiałów o mniejszej zawartości PLA a większej PCL.

Tabela 2. Radiolityczne wydajności wydzielania wodoru i pochłaniania tlenu. Napromieniowanie wiązką elektronów prowadzono w atmosferze powietrza

Table 2. Radiolytic efficiency of hydrogen evolution and oxygen absorption. Irradiation of the electron beam was carried out in an air atmosphere

PLA/PCL/porofor	GH ₂	GO ₂
	μmol/J	
100/0	0,028	0,28
96/0/4	0,027	0,43
91/5/4	0,027	0,31
86/10/4	0,035	0,54
81/15/4	0,037	0,28

Zauważono również, że wszystkie próbki oprócz czystego PLA zmieniały zabarwienie po napromieniowaniu z białego na różowe. Barwa zanikała po ok. 24 godzinach. W celu wyjaśnienia tego efektu zbadano radiolizę czystych składników materiału polimerowego PLA, PCL i po-

roforu. Okazała się, że zmianie barwy ulega zastosowany dodatek pianotwórczy. Skoro podobny efekt uzyskano dla materiału komórkowego (po rozkładzie poroforu), to zmiana barwy spowodowana jest składnikiem poroforu, który nie ulega rozkładowi termicznemu.

Badania starzeniowe

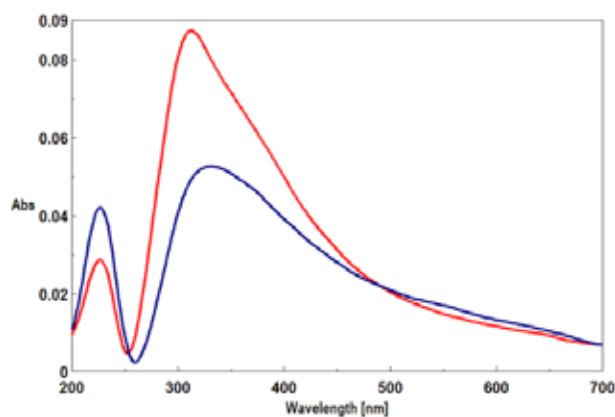
Próbki pianek napromieniowane dawką 25 kGy i dla porównania nienapromieniowane poddano badaniom starzeniowym. Oznaczono ilość tlenu pochłoniętego w zamkniętych szklanych butelczkach w temperaturze 50°C przez 30 dni. Oznaczenia ubytku O₂ wykonano za pomocą chromatografu gazowego z kolumną pakowaną i detektorem cieplnoprzewodnościowym. W tabeli podano krotności zwiększenia wydajności pochłaniania tlenu przez pianki napromieniowane w stosunku do pianek nienapromieniowanych (krotność oznaczona, jako R/N).

Tabela 3. Napromieniowanie powoduje zwiększenie wydajności procesów postradiacyjnego utleniania

Table 3. Irradiation increases the efficiency of postradiation oxidation processes

PLA/PCL	R/N
100/0	2,3
96/0/4	1,5
91/5/4	1,3
86/10/4	1,3
81/15/4	1,6

W badaniach procesów oksydegradacji pianek PLA/PCL wykorzystano również DRS (spektroskopię absorpcyjną w wersji odbiciowej światła rozproszonego). Przykładowo na rys. 1 porównano widma DRS próbek starzonych napromieniowanych (czerwona) i nienapromieniowanych (niebieska). Wyniki uzyskano poprzez odjęcie widm uzyskanych przed starzeniem od otrzymanych po starzeniu. Na rysunku przedstawiono jedynie pasma powstałe w wyniku starzenia. Jak widać, w przypadku próbek napromieniowanych uzyskaliśmy znacznie większą intensywność pasm odpowiadających grupom karbonylowym na końcu łańcuchów polimerowych (ok. 320 nm), charakterystycznych dla produktów degradacji łańcuchów. Pasma z zakresu 230 nm odpowiadają produktom utleniania w środku łańcucha polimerowego.



Rys. 1. Pasma w widmie DRS odpowiadają produktom utleniania powierzchni pianek PLA/PCL/porofor

Fig. 1. The bands in the DRS spectrum correspond to the surface oxidation products of PLA / PCL foams / blowing agent

Wnioski

Za pomocą obróbki radiacyjnej można wygodnie sterować czasem biodegradacji polimerów PLA/PCL. Do badania tych zjawisk oryginalnie wykorzystano chromatografię gazową i DRS. Modyfikacja radiacyjna pozwala również na stosunkowo prostą zmianę właściwości powierzchniowych np. tworzyw hydrofobowych na hydrofilowe. Zjawisko radiacyjnego sieciowania folii można zastosować przy produkcji pianek. Doświadczenia z polietylenowymi piankami pokazują, że udaje się w ten sposób znacznie zmniejszyć wymiary komórek. Należy również pamiętać, że wiązania poprzeczne mogą wpływać na czas degradacji materiałów biodegradowalnych, jeżeli powstaną przy okazji sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych. Tak, więc w zależności od celu, jaki chcemy uzyskać w wyniku działania na polimery promieniowania jonizującego, należy zaplanować i wykonać badania ich radiolizy najlepiej dla różnych dawek pochłoniętych promieniowania i sposobów obróbki radiacyjnej (wiązka elektronów, promieniowanie gamma, promieniowanie hamowania).

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura

- [1] W. Głuszewski, Postradiacyjna oksydegradacja polimerów, Tworzywa Sztuczne w Przemyśle, 3, 2018, 102-104
- [2] W. Głuszewski, A. Stasiak, A. Raszkowska-Kaczor, D. Kaczor, Effect of polyethylene crosslinking for properties of foams, Nukleonika, 2018, 63, (3), 81-85
- [3] W. Głuszewski, Zastosowanie technik radiacyjnych do wulkanizacji opon i modyfikacji elastomerów. Monografia „Radiacyjne sieciowanie poliolefin w produkcji pianek, innowacje dla energii i nie tylko. Zaawansowane materiały polimerowe dla energetyki i innych dziedzin wspomagane technologiami radiacyjnymi”, IChTJ, 39–48, 2018



PROF. DR HAB.
ANDRZEJ CHMIELEWSKI
UHONOROWANY
„MEDALEM 100-LECIA
ODZYSKANIA
NIEPODLEGŁOŚCI”



Fot. 1. Minister Energii, Krzysztof Tchórzewski, wręczył medal przyznany przez Prezesa Rady Ministrów, Mateusza Morawieckiego prof. Andrzejowi Chmielewskiemu (źródło: ME)

Minister Krzysztof Tchórzewski wręczył w dniu 17 kwietnia br. medal 100-lecia Odzyskania Niepodległości oraz dyplom stwierdzający jego nadanie prof. dr hab. Andrzejowi Chmielewskiemu dyrektorowi Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej.

Medal został przyznany przez Prezesa Rady Ministrów pana Mateusza Morawieckiego.



Fot. 2. Dyplom stwierdzający nadanie medalu



Fot. 3. Uroczystość ogłoszenia o przyznaniu medalu 100-lecia (źródło: ME)



Fot. 4. Medal 100-lecia Odzyskania Niepodległości (źródło: ME)

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



MEDIA (DRUKOWANE) O PROGRAMIE POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ

W ostatnim czasie ogólnopolskie media praktycznie nie informują o Polskim Programie Energetyki Jądrowej (PPEJ). Ale nie oznacza to, że o PPEJ zapadła kompletna cisza. Oto skany kilku publikacji, które pojawiły się w czasopiśmie branżowych lub regionalnych.

W artykułach przedstawiono rozwój energetyki jądrowej w krajach ościennych, leżących w regionie Europy Środkowo-Wschodniej. Dokonano przeglądu polskiego programu rządowego dotyczącego budowy jądrowych bloków energetycznych w Polsce. Przedstawiono także najważniejsze problemy sektora energetycznego oraz wpływ energetyki jądrowej na aspekt środowiskowy.

Rozważano także zagadnienia dotyczące cen energii. W artykułach na przód wysuwa się pytanie, jak, kiedy powstanie elektrownia jądrowa??

Autorzy chcą zwrócić większą uwagę na program zawarty w PPEJ, jego kontynuację, podtrzymywanie zainteresowania energetyką jądrową, i zajęcie się kolejnymi istotnymi kwestiami w miarę ich pojawiania się oraz wspieranie tych prac poprzez, chociażby informacje. Autorzy zadają szereg pytań nawiązujących do inicjowania i kształtowania prac na temat energetyki jądrowej.



1. Instal –

2. **INSTAL - Energetyka Jądrowa dlaczego nie w Polsce?**
Andrzej G. Chmielewski3. **Instalacje w Energetyce – Jak ułożyć inwestycyjne puzzle?**
Marek Bielski4. **MIĘDZY NAMI ANINIANINAMI Atomistyka w Polsce – Kiedy wreszcie będzie w Polsce elektrownia jądrowa?**
Stanisław Latek5. **Pauza akademicka – Kiedy w Polsce powstanie elektrownia atomowa?**
Jerzy Niewodniczański6. **Wszystko Co Najważniejsze Nuklearna odsiecz dla cen energii**
Andrzej Piotrowski

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



MIĘDZYNARODOWE SYMPOZJUM O NISKICH DAWKACH PROMIENIOWANIA W DIAGNOSTYCE I TERAPII



Fot. 1. Zamek w Kielcach, (fot. Tadeusz Matuszak)

W dniach 17-18 września 2019, w Kielcach, odbędzie się symposium satelitarne XVIII Zjazdu Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych im. Marii Skłodowskiej-Curie (Kielce 16-19 września 2019, <http://ptbr.org.pl/index.php/xviii-zjazd-ptbr.html>) dotyczące niskich dawek promieniowania w medycynie: „Applications of low radiation doses in medical diagnosis and therapy”, współorganizowane przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych w Świerku. W trakcie Sympozjum przewidziane są wystąpienia znamienitych ekspertów z Polski i zagranicy: prof. Marek Janiak (Polska), dr Jerry Cuttler (Kanada), dr Nicolas Foray (Francja), prof. Carmel Mothersill (USA), prof. Wade Allison (Wielka Brytania) i dr Yehoshua Socol (Izrael). Sympozjum odbędzie się w języku angielskim. Ramowy plan sympozjum i dalsze szczegóły dostępne są na stronie internetowej PTBR (<http://ptbr.org.pl/index.php/symposium-satelitarne-xviii-zjazdu-ptbr.html>).

Sylwester Sommer,
prezes Warszawskiego Oddziału
Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych,
Warszawa



OGÓLNOPOLSKI SZCZYT ENERGETYCZNY

W dniach 8-9 kwietnia br. w Europejskim Centrum Solidarności w Gdańsku spotkali się po raz kolejny przedstawiciele instytucji odpowiedzialnych za bezpieczeństwo energetyczne i gospodarcze Polski, politycy, ekonomiści oraz przedstawiciele świata biznesu i nauki. Tematem przewodnim VII edycji Ogólnopolskiego Szczytu Energetycznego (OSE) była „Energetyka dla gospodarki – gospodarka dla



Fot. 1. Uczestnicy panelu „Polska energetyka na drodze do energetyki niskoemisyjnej” (fot. Wojciech Głuszewski)

energetyki”. Prelegenci i uczestnicy debat rozmawiali o bezpieczeństwie polskiej gospodarki, a w szczególności o strategicznych sektorach (z naciskiem na energetyczny) pod kątem ryzyka wynikającego z sytuacji międzynarodowej oraz polityki Unii Europejskiej. W szczególności dotyczyło to reorganizacji polskiego rynku energii, jako konsekwencji polityki surowcowej państwa. Uniezależnienie gospodarcze i energetyczne, pewność zaopatrzenia w surowce, stabilność relacji międzynarodowych to tematy, wokół których rozmawiano w panelach dyskusyjnych. Debatą otwierającą OSE GDĄSK 2019 była plenarna sesja pt. „Polska polityka energetyczna – priorytety unijne vs polskie cele strategiczne”. W szczególności zastanawiano się nad nowym polskim miksem energetycznym zwłaszcza w odniesieniu do roli paliw kopalnych. W tym kontekście prelegenci poproszeni zostali o odniesienie się do kwestii uwarunkowań płynących z pakietu „zimowego” oraz COP24 (24. Konferencja Stron Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w Sprawie Zmian Klimatu). W dalszej części przeanalizowano perspektywę rozwoju sektora OZE, jak również miejsca energetyki jądrowej (EJ) w nowej polityce energetycznej. Entuzjastycznie o EJ mówił Juha Ottman Ambasador Republiki Finlandii. Kraj ten stawia na przetwarzanie energii jądrowej mimo nie najlepszych doświadczeń z budową EPR (Europejski Reaktor Ciśnieniowy) w Olkiluoto. Inwestycja kosztowała 10 mld euro i przedłużyła się o 10 lat. Zdobyte jednak w ten sposób doświadczenia pozwolą na budowę kolejnych bloków taniej i zgodnie z harmonogramem.

Druga część dyskusji zdominowana została przez temat przyszłych programów inwestycyjnych oraz ich sposobów finansowania. Nakreślono potencjalne synergie energetyki z sektorem wydobywczym, transportem i energochłonnymi gałęziami przemysłu. W dalszej kolejności omówiono przyszłość projektów dotyczących spalarni odpadów oraz biogazowi, bazując na doświadczeniach z Gdańska. W konkluzji uczestnicy podkreślali nie tylko konieczność bliskiej współpracy pomiędzy wykonawcami inwestycji i samorządami, ale również pomiędzy władzami centralnymi a samorządami. Na koniec podjęto zagadnienie inwestycji w służbie zdrowia na przykładzie szpitali w trójmieście. Należy dodać, że oba te tematy są interesujące również w kontekście zastosowania technik radiacyjnych do modyfikacji polimerów oraz sterylizacji wyrobów medycznych jednorazowego użytku. Spalenie odpadów szpitalnych jest najlepszym rozwiązaniem, mimo że, jak się wydaje odzysk energii z tworzyw sztucznych, nie będzie priorytetem w kolejnych latach w Unii Europejskiej. Stawia

się na tworzywa biodegradowalne oraz wielokrotne wykorzystanie opakowań i wyrobów z polimerów. W tym roku po raz trzeci w ramach Szczytu odbyło się „Laboratorium innowacyjności”, w którym zaproszeni goście: przedstawiciele biznesu, nauki i eksperci przedstawili krótkie prezentacje na temat innowacyjnych rozwiązań w przemyśle. Wspomniano również o energetyce jądrowej jako elemencie krajowego miksu energetycznego po roku 2033. Projekt „Polityka energetyczna Polski do 2040 r.” (PEP2040) zakłada budowę 6 bloków energetycznych o mocy 6-9 GW do 2043 r. Będą to dwie elektrownie: jedna na północy kraju, gdzie trwają badania lokalizacyjne, natomiast druga w centralnej Polsce. Ministerstwo Energii szacuje koszt realizacji całego programu jądrowego na 100-135 mld zł przez okres 20 lat.

W panelu „Strategie dostosowawcze grup energetycznych do nowych trendów rynkowych i zmian technologicznych” odniesiono się do zagadnienia innowacji technologicznych, wspierających zrównoważony rozwój i ich wpływ na modele rynkowe w poszczególnych podsektorach energetyki. W tym kontekście nie bez znaczenia był problem uzależnienia polskiej energetyki od systemów wsparcia oraz kwestii polskich elektrowni jądrowych (pod kątem dostępnych technologii i kluczowych graczy). Na uroczystej gali energetycy przyznali swoje wyróżnienia – statuetki „Bursztyn polskiej energetyki”.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



RADIACYJNA KONSERWACJA MOKREGO DREWNA

Na zaproszenie Narodowego Muzeum Morskiego w Gdańsku 9 kwietnia br. dr inż. Wojciech Głuszewski wygłosił wykład na temat „Radiacyjnej konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym” ze szczególnym uwzględnieniem problematyki konsolidacji tzw. mokrego drewna. Słuchaczami byli studenci Katedry Historii, Teorii Architektury i Konserwacji Zabytków Politechniki Gdańskiej oraz pracownicy muzeum. Naukowi pracownicy katedry prowadzą zajęcia dydaktyczne z historii architektury, ochrony dziedzictwa architektonicznego, konserwacji zabytków oraz projektowania konserwatorskiego i architektonicznego. Ich uzupełnieniem jest praktyka dokumentacyjno-

-historyczna, obejmująca inwentaryzację architektoniczną wybranego zabytku. Przedmioty związane z ochroną i konserwacją zabytków dotyczą zarówno teorii konserwatorskiej, jak i szeroko rozumianej praktyki projektowej. Ponadto katedra prowadzi kilka kursów seminaryjnych, które umożliwiają wszechstronne poszerzenie wiedzy w zakresie historyczno-konserwatorskim. Techniki radiacyjne to unikatowe rozwiązania dla ratowania zwłaszcza dużych kolekcji obiektów o znaczeniu historycznym. W szczególności promieniowanie jonizujące wykorzystuje się do inicjacji polimeryzacji monomerów i sieciowania polimerów, którymi nasącza się drewno. Konsolidacja porowatych artefaktów daje możliwość ratowania obiektów, będących w wydawałoby się beznadziejnym stanie. Technologia polepszenia właściwości drewna i betonu została opracowana już w latach 60. ubiegłego wieku. Nasączało wówczas obiekt płynną żywicą, która wypełniała mikropory, a następnie zestalano ją poprzez indukowaną promieniowaniem jonizującym polimeryzację. Najczęściej stosowano w tym celu promieniowanie gamma. Radiacyjna metoda różni się od tradycyjnych sposobów chemicznych, w których żywica nasącza jest z użyciem rozpuszczalnika. Po odparowaniu lotnego związku otrzymuje się kompozyt np. drewno/polimer. Unikatowość metody radiacyjnej polega na tym, że dodatkowo tworzywo polimerowe wzmacniane jest wiązaniami poprzecznymi. Mechaniczne właściwości artefaktów są w tym przypadku o wiele lepsze niż po konwencjonalnej formie konsolidacji. Technika radiacyjna pozwala konserwować mokre drewno w bardzo krótkim czasie w odróżnieniu od klasycznych metod z użyciem np. poli(tlenku etylenu), która przebiega latami.

W drugiej części sesji wykładowej Irena Rodzik Kierownik Działu Konserwacji Muzealiów opowiedziała o historii powstania Centrum Konserwacji Wraków Statków wraz z Magazynem Studyjnym w Tczewie. Oba obiekty składają się na najnowszy, zbudowany w 2016 r., oddział Narodowego Muzeum Morskiego w Gdańsku. To jedno z niewielu miejsc w kraju, gdzie można zapoznać się z technikami budowy dawnych łodzi oraz statków, poznać historię polskiego żeglarstwa i podejrzeć muzealnych konserwatorów przy pracy. Wartość projektu Centrum Konserwacji Wraków Statków to ponad 22 mln zł, z czego 85% to środki Norweskiego Mechanizmu Finansowego, a 15% to wkład ministra kultury i dziedzictwa narodowego. Projekt zrealizowany został w partnerstwie z dwiema norweskimi instytucjami: Norweskim Muzeum Morskim w Oslo oraz Muzeum Historii Kultury – Uniwersytetu w Oslo. Co więcej, można dodać, że w zeszłym roku Narodowe Muzeum Morskie w Gdańsku i jego oddział Muzeum Wisły w Tczewie były współorganizatorami konferencji pt. „Zastosowanie promieniowania jonizującego w badaniach i konserwacji zabytków” (<https://www.nmm.pl/aktualnosci/konferencja-zastosowanie-promieniowania-jonizujacego-w-badaniach-i-konserwacji-zabytkow>).

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



CENTRUM BADAWCZO-ROZWOJOWE PKN ORLEN

24 kwietnia br. podpisano akt erekcyjny i wbudowano kamień węgielny pod Centrum Badawczo-Rozwojowe (CBR) na terenie Płockiego Parku Przemysłowo-Technologicznego (PPPT). Podpisana umowa z generalnym wykonawcą, którym jest spółka Budimex S.A., zakłada zakończenie budowy do końca 2020 r. Szacowany całkowity koszt inwestycji to ok. 184 mln zł.



Fot. 1. Wmurowanie aktu erekcyjnego Centrum Badawczo-Rozwojowego w Płocku (fot. Wojciech Głuszewski)

W CBR prowadzone będą badania związane zarówno z paliwami, jak i segmentem petrochemicznym. Będzie można przeprowadzać testy usprawniające procesy technologiczne, udoskonalające produkty i optymalizujące koszty. Inwestorzy liczą, że w krótkim czasie zaowocuje to własnymi rozwiązaniami i patentami oraz umożliwi rozwój i wdrażanie własnych technologii, wzmacniając w ten sposób pozycję firmy na konkurencyjnym rynku europejskim. CBR będzie także nowoczesną platformą współpracy pomiędzy PKN ORLEN a światem nauki i biznesu. Swoje pomysły będą mogły wdrażać uczelnie, instytuty badawcze i start-upy.

Najważniejszą częścią CBR będzie Hala Odwzorowań i Pilotaży. Blisko 2 tys. m² zaawansowanej konstrukcyjnie i technologicznie powierzchni wyposażone będzie w wiele instalacji badawczych oraz pilotażowych. Do hali doprowadzone zostaną media i gazy techniczne niezbędne do prowadzenia zaawansowanych procesów badawczych. Temperatuty procesów oraz ciśnienia odwzorowywać będą warunki na wielkotonazowych instalacjach produkcyjnych, sięgając nawet 1000°C i 40 atm. Hala Odwzorowań i Pilotaży wykonana zostanie w najwyższej klasie bezpieczeństwa i pozwoli na sterowanie procesami z poziomu przeszklonej sterowni.

Istotnym elementem Centrum Badawczo-Rozwojowego będą nowoczesne, proekologiczne rozwiązania. Ośrodek zaopatrywany będzie w przyjazną środowisku energię elektryczną, przetworzoną przy użyciu własnych paneli fotowoltaicznych i turbiny wiatrowej. Nie zabraknie również rozwiązań w zakresie elektromobilności. Na terenie CBR powstanie stacja ładowania pojazdów elektrycznych, umożliwiająca obsługę do trzech samochodów w jednym momencie. Centrum Badawczo-Rozwojowe wpisuje się w system infrastruktury badawczej Grupy ORLEN. Uzupełni m.in. możliwości ośrodka UniCRE, zlokalizowanego

w czeskim Litwinovie. Nowe technologie oraz rozwiązania wprost z fazy naukowych doświadczeń będą mogły zostać przetestowane w realnych warunkach przed wdrożeniem w Zakładzie Produkcyjnym. Istotnym elementem obiektu będzie również zaplecze analityczno-techniczne, które w momencie oddania obiektu do eksploatacji, zostanie w pełni wyposażone w najwyższej klasy aparaturę badawczą. Umożliwi ono prowadzenie analiz dla różnych dziedzin, w tym biopaliwowej, petrochemicznej, asfaltów oraz olejów smarowych. Ośrodek zostanie również wyposażony w innowacyjną, jedną z kilku w kraju, hamownię silnikową przeznaczoną do prowadzenia testów i rozwoju najwyższej jakości paliw. W trakcie analizy potencjalnej lokalizacji CBR brano pod uwagę strukturę działalności badawczo-rozwojowej czołowych firm chemicznych w Europie. Zdecydowana większość infrastruktury badawczej w Europie znajduje się w pobliżu jednostek produkcyjnych. Stąd decyzja o realizacji inwestycji w Płocku, co umożliwi wykorzystanie bliskości instalacji przemysłowych oraz funkcji Płockiego Parku Przemysłowo-Technologicznego, w tym Centralnego Laboratorium. Zakład Produkcyjny w Płocku jest największą zintegrowaną jednostką produkcyjną w Grupie ORLEN, łączącą zarówno działalność rafinerijną, jak i petrochemiczną. Istotnym celem inwestycji jest także promocja nauki. Na terenie kompleksu znajdować się będzie ścieżka edukacyjna nawiązująca do nauk ścisłych i działalności Grupy ORLEN. W ramach realizacji projektów badawczych planowane jest zaangażowanie studentów i młodych naukowców, którzy będą mieli możliwość zdobycia doświadczenia i nowych kompetencji.

Warto dodać, że badania w zakresie radiochemii i chemii radiacyjnej znalazły istotne zastosowania w przemyśle petrochemicznym i modyfikacji tworzyw polimerowych. Przykładowo radioizotopy są powszechnie stosowane do kontroli instalacji petrochemicznych i dostarczają informacji, których nie można uzyskać w żaden inny sposób. Zamknięte źródła radioaktywne wykorzystuje się w radiografii przemysłowej, aplikacjach pomiarowych i ocenie materiałów. Radioizotopy są używane przez producentów, jako znaczniki do monitorowania przepływu płynu i filtracji, wykrywania wycieków oraz pomiaru zużycia silników i korozji urządzeń procesowych. Niewielkie stężenia krótkożytywnych izotopów można wykryć nawet, wtedy gdy w środowisku nie pozostają żadne inne ślady. Dodając niewielkie ilości substancji radioaktywnych do materiałów wykorzystywanych w różnych procesach, możliwe jest badanie szybkości mieszania i przepływu szerokiej gamy materiałów, w tym cieczy, proszków i gazów, oraz zlokalizowanie wycieków. Radioznaczniki są szeroko stosowane w przemyśle do badania procesów technologicznych i ustalania przyczyn ich nieefektywności. Materiały radioaktywne używa się do kontroli części metalowych i integralności spoin w różnych gałęziach przemysłu. Zasada działania jest podobna do kontroli bagaży urządzeniami rentgenowskimi na lotniskach. Zamiast wielkogabarytowej maszyny potrzebnej do wygenerowania promieniowania hamowania, wystarczy mała ilość materiału radioaktywnego w szczelnej kapsule tytanowej. Kapsułka jest umieszczana po jednej stronie monitorowanego obiektu, a film fotograficzny po drugiej. Kwanty promieniowania gamma, podobnie jak promieniowanie rentgenowskie, przechodzą przez obiekt i tworzą obraz na emulsji filmowej. Tak jak popularne prześwietlenia rentgenowskie wykazują np. złamania kości,

promieniowania gamma znajdują wady w metalowych odlewach lub połączeniach spawanych. Technika ta umożliwia kontrolę krytycznych elementów pod kątem wad wewnętrznych bez ich uszkodzenia. Na przykład, aby skontrolować nowo budowane rurociągi ropy naftowej lub gazu, specjalną folię przykleja się do spoiny wokół zewnętrznej strony rury. Automat przenosi ekranowane źródło promieniowania do wnętrza rury w okolice spoiny. Tam radioizotop jest zdalnie odsłaniany, a na filmie powstaje radiograficzny obraz spawu. Uzyskana fotografia jest następnie opracowywana i analizowana z punktu widzenia ewentualnych wad. Innym przykładem jest możliwość wykonania za pomocą promieniowania gamma obrazu nowo uruchamianej instalacji rafinerijnej. W przypadku jej awarii pomiar się powtarza i lokalizuje uszkodzoną półkę destylacyjną. Naprawa ograniczona jest tylko do małego fragmentu instalacji. W przeciwnym przypadku przeglądowi należałoby poddać całą kolumnę rektyfikacyjną.

Radioznaczniki są również stosowane w przemyśle naftowym i gazowym, aby pomóc określić zasięg pól naftowych.

Dużym obszarem możliwej współpracy naukowej jest radiacyjna modyfikacja tworzyw polimerowych. Przykładowo nadal poszukuje się lepszych odmian polipropylenu (PP) odpornego na warunki sterylizacji radiacyjnej. Autor w pracy doktorskiej badał zjawiska ochronne w radiolizie polipropylenu otrzymanego w tym czasie z instalacji produkcyjnych w Płocku. W eksperymentach wykorzystywano pierwotny polipropylen z instalacji produkcyjnej, przed dodaniem standardowych antyutleniaczy i fotostabilizatorów. Temat jest nadal aktualny, ponieważ produkowane w kraju polipropylenowe strzykawki jednorazowego użytku nie są wyjaławiane promieniowaniem jonizującym a tradycyjnie toksycznym i kancerogennym tlenkiem etylenu.

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



PGNiG TERMIKA WALCZY ZE SMOGIEM W WARSZAWIE

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (również redakcja naszego kwartalnika) znajduje się na terenie, który w latach 50 ubiegłego wieku stanowił budowlane zaplecze Elektrociepłowni EC Żerań. Obecnie jesteśmy sąsiadami przez kanał Żerański. Warto w tym kontekście odnotować, że 17 kwietnia odbyły się w EC Żerań „połowinki” budowy najnowocześniejszej jednostki gazowo-parowej w Polsce, która w przyszłym roku ogrzeje mieszkańców Warszawy. W spotkaniu z dziennikarzami udział wzięli minister energii Krzysztof Tchórzewski i Prezes PGNiG Piotr Woźniak. Moc elektryczna brutto bloku będzie wynosić 497 MWe, a maksymalna moc cieplna 326 MWt. Nowy blok i kotłownia będą mogły produkować 4 TWh energii elektrycznej i 1,9 TWh energii cieplnej. Inwestycja sprawi, że wyeksploatowane kotły węglowe zostaną wycofane z użycia, a nowa jednostka będzie spełniać rygorystyczne standardy środowiskowe. W zasadzie można byłoby również zlikwidować hałdę węgla kamiennego. Jednak przynajmniej w części będzie ona nadal stanowić tzw. rezerwę szczyto-

wą. W sytuacji awaryjnej będzie można ponownie uruchomić kotły węglowe. Nowy blok będzie zużywał ok. 0,5 mld m³ gazu ziemnego rocznie. Historia budowy inwestycji na Żeraniu od pomysłu do stanu dzisiejszego ma już 10 lat. Przyspieszenie realizacji nastąpiło w okresie ostatnich 2 lat. Warto przypomnieć, że od wmurowania kamienia węgielnego upłynęło półtora roku, natomiast od wejścia wykonawców na budowę 16 miesięcy. Nowy blok w Elektrociepłowni Żerań zostanie ukończony w IV kwartale 2020 r., tzn. natychmiast po przyłączeniu do sieci gazowej Gaz Systemu. Właśnie poinformowano o ukończeniu dwu przewiertów pod Kanałem Żerańskim.



Fot. 1. Minister Krzysztof Tchórzewski w towarzystwie przedstawicieli wykonawców inwestycji na tle fragmentów nowego bloku energetycznego (fot. Wojciech Głuszewski)

Pierwszy z przewiertów, o długości 676 metrów został wykonany pod tzw. martwą odnogą Kanału Żerańskiego. Drugi o długości 798 metrów, w okolicy ulicy Białoleckiej. Po uruchomieniu nowego bloku produkcja energii elektrycznej w kogeneracji EC Żerań wzrośnie o ok. 130%. Ponadto, nowy blok gazowo-parowy będzie emitował o ok. 40% mniej CO₂ w porównaniu do wyłączanych kotłów. Wykonawcami inwestycji są japońskie konsorcjum Mitsubishi Hitachi i polski Polimex-Mostostal. Jej wartość to 1,3 mld zł netto (1,6 mld zł brutto). W bloku będzie pracowała japońska turbina gazowa klasy F. To najnowocześniejsze turbiny w tej klasie na świecie, a japońska firma w zeszłym roku uzyskała prawie 50% udział w globalnym rynku dużych turbin gazowych.

Pod koniec roku 2018 na Żerań dotarł stojan generatora, jeden z najważniejszych elementów nowego bloku parowego. Zakończył w ten sposób swoją podróż z portu w Gdyni do terenu inwestycji. Jego producentem jest Mitsubishi Hitachi Power Systems Ltd, ładunek opuścił fabrykę w Japonii i do portu w Gdyni dopłynął pod koniec listopada. Jego produkcja trwała ponad rok, a sama podróż morską z Japonii do Polski zajęła niemal dwa miesiące. Stojan generatora to ładunek o wadze 306 ton z nadkrytycznymi wymiarami przekraczającymi parametry skrajni kolejowej. Wyjątkowo na potrzeby transportu stojana generatora, wynajęty został 32-osiowy specjalistyczny wagon kolejowy typu dziobowego, który umożliwia przewóz ładunków ważących do 500 ton. Razem z innymi ważnymi elementami konstrukcyjnymi (wirnik i turbina), stojan stanowi jeden z kluczowych komponentów bloku o mocy 497 MW.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



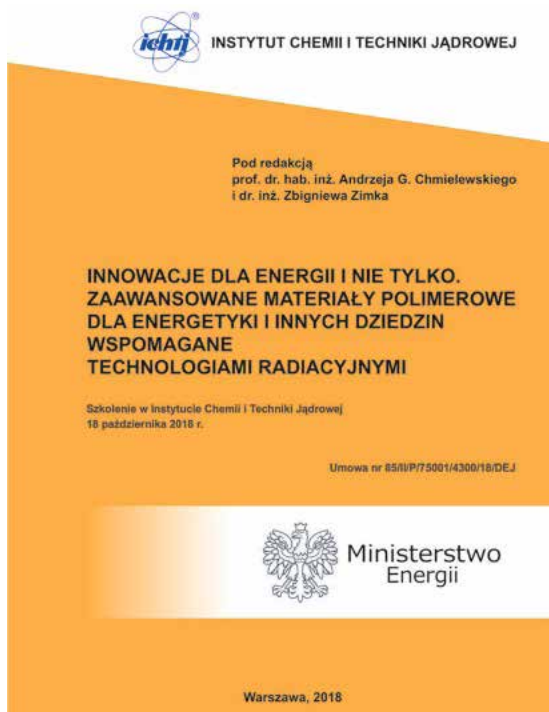
PLASTECH'2019

Monografia zatytułowana „Innowacje dla energii i nie tylko. Zaawansowane materiały polimerowe dla energetyki i innych dziedzin wspomagane technologiami radiacyjnymi” została zaprezentowana na jubileuszowym XXV Sympozjum Technicznym PLASTECH, które odbyło się w krzyżackim zamku w Gniewie.



Fot. 1. Autor komunikatu w Zamku w Gniewie (fot. Plastech)

W ten sposób dr inż. Wojciech Głuszewski podsumował w wykładzie „Zaawansowane materiały polimerowe modyfikowane radiacyjnie” wyniki szkolenia na temat zastosowania promieniowania jonizującego do korzystnych zmian właściwości polimerów, które odbyło się pod koniec zeszłego roku w IChTJ.



Fot. 2. Okładka broszury wydanej przez Ministerstwo Energii (fot. Wojciech Głuszewski)

W trakcie sympozjum Plastech przedstawiono łącznie 21 prezentacji. W konferencji wzięło udział ponad 150 gości z 7 krajów (Austria, Japonia, Niemcy, Polska, Turcja, Węgry, Włochy) i blisko 80 firm. Tegoroczne spotkanie odbywało się pod hasłem „Rola i Znaczenie Tworzyw Sztucznych Dla Rozwoju Przemysłu i Życia Człowieka”.

W gronie uczestników znalazły się grupy producentów tworzyw sztucznych (Covestro, DuPont, Eastman, Epsan, Grupa AZOTY, Lanxess), dystrybutorów i compounderów (Albis, Granulat, Innocomp, Lyondell Basell A.Schulman, Plaskobel, Plastoplan, Polimarky, Polyone, Sirmax, Ter Plastics) oraz praktyków z zakresu przetwarzania tworzyw sztucznych (Aparator-Metrix, Cersanit, Hanplast, Intemo, Kontakt Simon, Kwazar, Lamela, Maskpol, Ramp, Rosti, RPC Bramlage, Satel, Sierosławski Group).

Jubileuszowa edycja była nie tylko doskonałą okazją do wysłuchania wystąpień i prezentacji wpisujących się w nurt przewodni Sympozjum, ale także stanowiła platformę do merytorycznej dyskusji z renomowanym gronem przedstawicieli czołowych firm z branży przetwórstwa tworzyw sztucznych w Polsce.

Wydarzeniu partnerowały firmy: WADIM PLAST (Mecenas Sympozjum), Grupa AZOTY Partner Strategiczny oraz jako Partnerzy Sympozjum – ALBIS, CAMdivision, GENPLAST, GRANULAT, PlasticsEurope Polska, GAMART, SCIENCE and PLASTICS EXPERTS, SIEROSŁAWSKI Group, SIRMAT, STAUBLI, WITTMANN BATTENFELD oraz TER PLASTICS Polymer Group.

Po raz pierwszy w konferencji uczestniczyli goście z Japonii reprezentujący firmę Japan Steel Works, producenta najnowocześniejszych maszyn do przetwórstwa tworzyw metodą wtryskiwania. Na specjalne zaproszenie Organizatorów wystąpienie otwierające Sympozjum wygłosił Shoso NISHIDA, światowej klasy autorytet i autor kilkudziesięciu patentów w dziedzinie przetwórstwa tworzyw sztucznych, prezentujący najnowsze osiągnięcia firmy JSW w zakresie technologii wtryskiwania. W tej samej sesji przyszłość polskiej i europejskiej branży tworzyw przedstawił dyrektor zarządzający Fundacji PlasticsEurope Polska Kazimierz BORKOWSKI. Dotyczyło ono także najnowszych wyzwań dla całego przemysłu. Równie interesujące prezentacje miały miejsce w obszarze materiałów polimerowych i ich aplikacji. Wykazano wbrew ogólnym obawom związaną z zanieczyszczeniem środowiska niezwykle rolę tworzyw sztucznych we współczesnym świecie i życiu człowieka dzięki ich wyjątkowym i unikalnym właściwościom. Prelegenci mówili o możliwościach zamiany innych materiałów tworzywami polimerowymi. Dzięki uprzejmości organizatorów można było zaprezentować również najnowsze osiągnięcia w dziedzinie technologii radiacyjnych.

Podsumowując sympozjum, można powiedzieć, że PLASTECH w dalszym ciągu jest jednym z najistotniejszych spotkań branży przetwórców i kadry inżynierskiej oraz platformą do wspólnej dyskusji nad rozwojem techniki i poziomem oferowanych rozwiązań. Materiały z konferencji są dostępne na stronie: tworzywa.pl. Zachęcamy również do zapoznania się ze wspomnianą na wstępie monografią, która jest umieszczona na stronie internetowej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



OTWARCIE ALEI IM A. HRYNKIEWICZA W ZIBJ W DUBNEJ

(ROSYJSKA FEDERACJA)

W dniu 25 marca 2019 r. została otwarta na terenie Laboratorium Reakcji Jądrowych Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej Aleja im. Profesora Andrzeja Hryniewiczza. Aleja ta znajduje się w reprezentacyjnym miejscu pomiędzy budynkiem Dyrekcji Laboratorium a Fabryką Superciężkich Pierwiastków. Inicjatorem tych działań był prof. Jurij Oganiesjan – lider zespołu ZIBJ syntetyzującego superciężkie pierwiastki. Uroczystość otworzył wicedyrektor ZIBJ prof. Michaił Itkis. Życiorys prof. Hryniewiczza przedstawił prof. Waligórski, Pełnomocny Przedstawiciel Rządu RP w ZIBJ, zaś prof. Oganiesjan podzielił się swoimi wspomnieniami o prof. Hryniewiczzu. Odślonięcia tablicy pamiątkowej dokonali prof. Itkis i prof. Waligórski. W uroczystości wzięli udział Dyrektorzy ZIBJ, Pełnomocni Przedstawiciele Krajów Członkowskich ZIBJ, Grupa Polskich Pracowników w ZIBJ, pracownicy ZIBJ oraz polska delegacja, która uczestniczyła w zebraniu Pełnomocnych Przedstawicieli Krajów Członkowskich ZIBJ. Okolicznościową broszurę o prof. Hryniewiczzu przygotował dr Władysław Chmielowski – Starosta Grupy Polskich Pracowników w ZIBJ.

Jest więc pięć alej na terenie laboratoriów ZIBJ upamiętniających polskich fizyków związanych z ZIBJ: Henryka Niewodniczańskiego, Leopolda Infelda, Mariana Danysza, Jerzego Janika, a obecnie także Andrzeja Hryniewiczza.

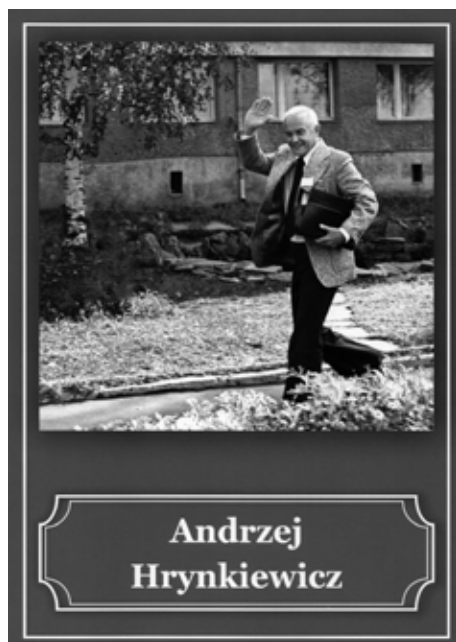
W załączeniu kilka zdjęć z tej uroczystości wykonanych przez Elenę Puzyninę, która jest pracownikiem ZIBJ.



Fot. 1. Uczestnicy uroczystości otwarcia Alei im. A. Hryniewiczza przed budynkiem Dyrekcji Laboratorium Reakcji Jądrowych ZIBJ. Uroczystość otwiera wicedyrektor ZIBJ, prof. M. Itkis (fot. Elena Puzynina)



Fot. 2. Prof. Waligórski wspomina prof. Hryniewiczza. Od lewej: M. Katiukov – Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego Federacji Rosyjskiej, prof. V. Matveev – Dyrektor ZIBJ, dr L. Kostov – Pełnomocny Przedstawiciel Bułgarii, prof. M. Itkis – wicedyrektor ZIBJ, prof. M. Waligórski, prof. J. Oganesjan i prof. M. Budzyński (fot. Elena Puzynina)



Fot. 3. Okładka broszury o prof. Andrzeju Hryniewiczzu wydanej przez ZIBJ w Dubnej

Mieczysław Budzyński,
Instytut Fizyki Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej,
Lublin

Michael Waligórski,
Instytut Fizyki Jądrowej PAN,
Kraków

Władysław Chmielowski,
Zjednoczony Instytut Badań Jądrowych,
Dubna



WSPÓŁPRACA IChTJ Z A&M UNIVERSITY, COLLEGE STATION, TEXAS, USA



W marcu tego roku dyrektor Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ), prof. Andrzej Chmielewski wygłosił cykl 8 wykładów nt., zastosowania technologii radiacyjnych przeznaczonych dla doktorantów i studentów wykonujących prace eksperymentalne w National Center for Electron Beam Research (ebeam-tamu.org) będącym, podobnie jak Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, IAEA Collaborating Centre. W trakcie pobytu w Texasie poza spotkaniami z dziekanami i dyrektorami wybranych jednostek dydaktycznych oraz badawczych prof. Chmielewski wygłosił na dwóch wydziałach seminaria zatytułowane „Maria Skłodowska-Curie and Poland's Reach History with Ionizing Radiation”. W prezentacjach przedstawione zostały prace realizowane w ramach projektów IChTJ; Tango 2/341079/NCBR/2017 “Plasma technology for high NO_x treatment on off-gases” oraz ARIES “Accelerator Research and Innovation for European Science and Society”.



Fot. 1. Od lewej: dr Paulo Beretto, Nuclear Power Institute i dyrektor Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, prof. Andrzej Chmielewski

Wizyta była wynikiem współpracy pomiędzy obydwooma ośrodkami poprzez realizację wspólnych projektów w ramach programu EU Erasmus, finansowanych ze środków unijnych programu Horyzont 2020. Dyrektor Andrzej Chmielewski odwiedził Nuclear Safety Institute, Emergency Training Center, Nuclear Research Reactor Center, w którym znajduje się reaktor badawczy o mocy cieplnej 1 MW oraz inne urządzenia eksperymentalne. Obecnie reaktor wykorzystywany jest do produkcji radioizotopów promieniotwórczych, a także świadczy usługi w zakresie wykorzystania promieniowania jonizującego głównie w badaniach naukowych, w diagno-

stycie i terapii medycznej i przemyśle. Centrum realizuje także programy szkoleniowe z zakresu pracy/sterowania reaktora, medycyny nuklearnej, wykorzystywania materiałów promieniotwórczych. W centrum prowadzone są badania przez naukowców z macierzystego uniwersytetu oraz z innych uczelni, agencji rządowych i przemysłu.



Fot. 2. Prof. Andrzej Chmielewski przed budynkiem mieszczącym badawczy reaktor uniwersytecki

Texas A&M University, czyli Texas Agricultural and Mechanical University, zwany A&M albo TAMU

Kilka zdań o samym uniwersytecie. Texas A&M University, czyli Texas Agricultural and Mechanical University, zwany A&M albo TAMU to flagowy uniwersytet systemu Uniwersytetów w Teksasie. Siódmy co do wielkości uniwersytet w Stanach Zjednoczonych, rocznie uczy się w nim ok. 50 tys. studentów. Znany z osiągnięć w naukach ścisłych, biologicznych, wojskowych, medycynie. Naukowcy z TAMU biorą udział w programach badawczych NASA. Jeden z trzech najlepszych uniwersytetów w Teksasie. W rankingach uniwersytet plasuje się w pierwszej dwudziestce amerykańskich publicznych szkół wyższych.

TAMU to pierwsza publiczna szkoła wyższa w Teksasie. Powstała w latach 70. XIX wieku jako Agricultural and Mechanical College of Texas, który zajmował się przede wszystkim kształceniem rolników i wojskowych. Dzisiejsza nazwa została nadana szkole w 1963 r. W latach 60. XX wieku szkoła przekształciła się w uniwersytet i nabrała dzisiejszego charakteru. Słowa „agricultural” (rolniczy) i „mechanical” (mechaniczny) w nazwie zachowano ze względów historycznych.

W ramach uniwersytetu działa Nuclear Power Institute, który powstał z inicjatywy byłego dyr. TC IAEA, Paulo Baretto. W Instytucie prowadzone są kursy bezpieczeństwa jądrowego dla specjalistów z całego świata, w tym z Polski. Brali w nich m.in. udział pracownicy Państwowej Agencji Atomistyki oraz Polskiej Grupy Energetycznej EJ1. Z pewnością będą one motywacją do dalszej współpracy oraz próby zastosowania zaobserwowanych w USA metod i sposobów pracy.

W 1997 r. na TAMU powstała Biblioteka Prezydenta George’a H. W. Busha, jedna z trzynastu bibliotek prezydenckich w USA. Były prezydent Stanów Zjednoczonych i jego żona Barbara Bush byli zaangażowani w życie uniwersytetu. Roczny budżet uniwersytetu wynosi 4,2 mld USD.

Ampułka podarowana przez Marię Skłodowską-Curie



Fot. 3. Zdjęcie ampułki z radem

Warto zauważyć, że jednym z dokonanych „odkryć” Profesora w Teksasie była ampułka z niewielką ilością radu podarowanego uczonym w USA przez Marię Skłodowską-Curie. Pojemnik umieszczono w komorze, która zabezpiecza widzów przed promieniowaniem gamma oraz radioaktywnym gazowym radonem i produktami jego rozpadu.

Oto bliższa informacja na ten temat.

W hali reaktora badawczego należącego do Uniwersytetu A&M znajduje się ampułka z niewielką ilością radu (ok. 2,5 mg), która zawierała kiedyś 1 gram tego pierwiastka podarowanego przez naród amerykański naszej Wielkiej Uczonej, Marii Skłodowskiej-Curie. Szklana próbówka została znaleziona na werandzie domu pani Mary Stark w Grand Junction w Kolorado. Pani Stark odziedziczyła ampułkę po swoim ojcu, Walterze Koenig, który otrzymał fiolkę jako prezydent od Marii Skłodowskiej-Curie w latach dwudziestych. Walter Koenig i jego brat Henry pracowali przez pewien czas w laboratorium Madame Curie w Paryżu, po czym wrócili do Stanów Zjednoczonych, gdzie założyli Radium Company of Colorado.

Współpraca pomiędzy obydwooma ośrodkami będzie kontynuowana



Fot. 4. Dyrektor ośrodka reaktorowego Cameron Macdonnell z prof. Andrzejem Chmielewskim



Fot. 5. Notka z miejscowej gazety podająca informację o historii odnalezienia ampulki z radem znajdującej się obecnie w Teksasie

W ubiegłym roku w ramach projektu Erasmus+ projekt KA107 cykl wykładów w IChTJ wygłosił prof. Suresh D. Pollai z A&M University, który był też głównym mówcą w czasie seminarium „The emerging trends in the sludge treatment” zorganizowanym przy wsparciu projektu EU H2020 “Accelerator Research and Innovation for European Science and Society”, task WP3 oraz projektu Erasmus+ project KA107 (nr 2017-1-PL01-KA107-036224).



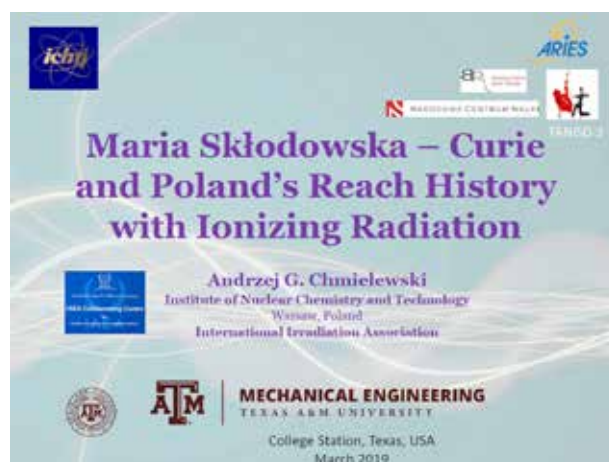
Fot. 6. Prof. Suresh Pillai wygłaszający referat w trakcie seminarium w IChTJ

Współpraca pomiędzy obydwooma ośrodkami będzie kontynuowana poprzez wymianę wykładowców i studentów. Ważną rolę w tej współpracy odgrywa fakt, że obie instytucje są mianowane Collaborating Center IAEA w zakresie technologii radiacyjnych.

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) jako jedna z nielicznych jednostek naukowych na świecie posiada kompleks akceleratorowy składający się z 6 akceleratorów. W tym stanowisko do nanosekundowej radiolizy impulsowej (w Europie istnieją jedynie dwa takie urządzenia. Uniwersytet A&M w Teksasie jest zainteresowany możliwością wykorzystania tych urządzeń dla potrzeb wykonywanych eksperymentów przez doktorantów tej znanej uczelni amerykańskiej.



Fot. 7. Na zakończenie pobytu w Teksasie prof. A. Chmielewski otrzymał dokument potwierdzający jego Teaching Mobility



Fot. 8. Pierwsza strona prezentacji pt. MSC i bogata historia badań promieniowania jonizującego w Polsce

Andrzej Chmielewski,
Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



INTERNATIONAL MEETING ON RADIATION PROCESSING IMRP 2019

W dniach 1-5 kwietnia 2019 r. w Strasburgu (Francja) odbyła się Międzynarodowa Konferencja „International Meeting on Radiation Processing” (IMRP), która od ponad 40 lat jest miejscem spotkań zarówno przedstawicieli nauki, jak i przemysłu związanego z technologiami radiacyjnymi. W konferencji uczestniczyło ponad 500 osób reprezentujących 45 krajów.

Program konferencji obejmował wykłady plenarne, dotyczące globalnych i regionalnych wydarzeń, głównych zastosowań i najnowszych osiągnięć technologicznych, sesje równoległe poświęcone najnowszym osiągnięciom naukowym i przemysłowym w zakresie sterylizacji, modyfikacji polimerów, napromieniania żywności czy też wykorzystanie wiązki elektronów o niskiej energii oraz prezentacje plakatu, które podzielono na dwie sesje pod koniec pierwszych dwóch dni konferencji.

W trakcie konferencji wyróżniono dwóch laureatów IMRP 2019: Scientific-Maria Helena Sampa oraz Business-Laureate-Yves Henon.

Delegaci mieli także możliwość uczestniczenia w szkoleniach oraz wizytach w dniu 1 kwietnia br. Przed oficjalnym rozpoczęciem konferencji, odbyły się dwa warsztaty: warsztaty dozymetryczne i warsztaty na temat aktualnych zagadnień dotyczących wykorzystania promieniowania gamma. Dla uczestników IMRP zorganizowano wycieczki do Aérial i BGS Beta-Gamma-Service. Centrum badawczo-szkoleniowe Aérial odwiedziło 120 delegatów IMRP19. Punktem kulminacyjnym tej wycieczki była wizyta w nowej stacji napromieniowania „feerix” wyposażonej w akcelerator Rhodotron IBA TT300 z wiązką elektronów o energii 10 MeV i promieniowaniem hamowania (X) 5 lub 7 MeV. Feerix (www.aerial-crt.com).

Ponad 80 delegatów IMRP odwiedziło stację BGS w Bruchsal w Niemczech. BGS wykorzystuje 2 akceleratory elektronów o zakresie energii od 4,5 do 10 MeV. Zastosowano tam duże systemy przenośników umożliwiające obróbkę radiacyjną materiałów o wymiarach do 12 m x 1,2 m za pomocą wiązek elektronów. Uczestnicy konferencji zwiedzili również nową stację gamma BGS, która została otwarta w maju 2018 r. (<https://en.bgs.eu/>).

W ramach IMRP w dniach 27-29 marca 2019 r. odbyło się szkolenie na temat zastosowań promieniowania jonizującego do otrzymywania zaawansowanych materiałów organizowane przez University of Reims Champagne-Ardenne (prof. Xavier Coqueret) we współpracy z iia w Reims, Francja. W kursie wzięło udział 28 studentów i młodych specjalistów z szesnastu krajów. Ekspert z Francji, Turcji i USA przedstawili szeroki zakres tematów, od oddziaływania promieniowania z materią po najnowsze osiągnięcia w dziedzinie chemii radiacyjnej oraz rozwiązania technologiczne.

Konferencji IMRP towarzyszyła wystawa, na której swoje oferty prezentowali przedstawiciele firm działających w obszarze wykorzystania promieniowania jonizującego, producenci urządzeń radiacyjnych, a także systemów dozymetrycznych.

Na zakończenie konferencji ogłoszono, że IMRP 2021 odbędzie się w Bangkoku.

*Urszula Gryczka,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



REGION EMILIA ROMANA. FORLY, IMOLA, BOLONIA. ZIEMIA POLSKA I WŁOSKA RAZEM

W połowie kwietnia we włoskim regionie Emilia Romagna, w Forly, Imoli i Bolonii odbyły się spotkania poświęcone Marii Skłodowskiej-Curie, Mikołajowi Kopernikowi oraz żołnierzom II Korpusu Armii Andersa zorganizowane przez kilka stowarzyszeń włoskich współpracujących ze Związkiem Polaków w Kalabrii. Uczestniczyła w nich autorka niniejszego tekstu, reprezentując Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie. W liceum technicznym w Imoli zorganizowano seminarium poświęcone Marii Skłodowskiej-Curie połączone z ekspozycją wystawy o życiu i dokonaniach Noblistki. Właścicielem wystawy jest Związek Polaków w Kalabrii, którego prezesem jest mieszkająca od wielu już lat w Reggio di Calabria Polka, Katarzyna Gralińska, tłumacz przysięgły Sądu Okręgowego w Reggio di Calabria. Związek organizuje spotkania, prelekcje, wykłady, seminaria naukowe, kulturalne, konkursy, koncerty. Wydarzenia promujące polską kulturę, naukę i sztukę; Polaków swoim życiem, postawą i działalnością rozsławiających imię ojczyzny na świecie. Są one adresowane do młodzieży włoskiej i polonijnej oraz do wszystkich Polaków i Włochów zainteresowanych Polską.



Fot. 1 Seminarium poświęcone Marii Skłodowskiej-Curie w Imoli (fot. Krzysztof Marciniak)

Organizatorem spotkania w Imoli było stowarzyszenie Associazione "Eredità e memoria" z jego prezesem, Gabriele Ravanelli oraz Istituto Tecnico "Alberghetti" i prof. Stefano Baldi. Autorka przygotowała prezentację na temat życia i dokonań Marii Skłodowskiej-Curie, przedstawiła uczoną mniej znaną niż opisywana w podręcznikach. Dla wielu uczniów pewne fakty z życia uczonej, jej ścisłe związki z Polską, zaangażowanie w budowę Instytutu Radowego w Paryżu i w Warszawie, organizacja leczenia onkologicznego były zupełną nowością.



Fot. 2. Otwarcie wystawy o Mikołaju Koperniku (fot. Krzysztof Marciniak)

Tego samego dnia w oddalonym o kilkadziesiąt kilometrów w Forly, w chiostro di San Mercuriale, odbyła się inauguracja wystawy poświęconej życiu i twórczości Mikołaja Kopernika. W uroczystości brała udział Konsul Generalna RP w Mediolanie, pani Adrianna Siennicka wicekonsul RP, pan Bartosz Skwarczyński oraz władze miasta Forly i jego mieszkańcy.



Fot. 3. Otwarcie ekspozycji o Mikołaju Koperniku (fot. Krzysztof Marciniak)

Wystawa należy do Związku Polaków w Kalabrii, wersję włoską zawdzięczamy pani K. Gralińskiej (tak jak w przypadku wystawy o M. Skłodowskiej-Curie). Organizatorami ekspozycji były stowarzyszenie Gruppo di Preghiera di Montepaolo we współpracy z Associazione Nuova Civiltà delle Macchine i stowarzyszeniem Via

dell'Ambra, które od kilku lat współpracuje ze Związkiem Polaków w Kalabrii, a także Gruppo Astrofili Forlivesi, Soroptimist i Servizio Migrantes z diecezji z Forly.



Fot. 4. Ekspozycja wystawy o M. Koperniku w Forly (fot. Krzysztof Marciniak)

W pobliskim kościele i pod tablicą pamiątkową upamiętniającą żołnierzy II Korpusu Armii Gen. Andersa oraz rozstrzelanych mieszkańców miasta złożono kwiaty.



Fot. 5. Polski cmentarz żołnierzy II korpusu w Bolonii (fot. Krzysztof Marciniak)



Fot. 6. Złożenie kwiatów w miejscu budowy pomnika gen. Andersa w Imola (pani konsul i pan wicekonsul RP; fot. Krzysztof Marciniak)

Osobami odpowiedzialnymi za całą uroczystość byli państwo Pier Luigi Consorti wraz z małżonką Moniką Pelczar, której także zawdzięczam tłumaczenie moich wystąpień.

Wystawę prezentowano przez dwa tygodnie, odwiedziło ją wiele szkół, a także liczni mieszkańcy Forly i okolicy, cieszyła się ona dużym zainteresowaniem. Autorzy wystawy (jednym z nich była autorka niniejszego tekstu) przedstawili Mikołaja Kopernika jako prawnika, żołnierza, lekarza, ekonomistę, kartografa, astronoma. Człowieka tak wszechstronnego, jak Leonardo da Vinci, nazywanego zresztą „polskim Leonardo”.



Fot. 7. Seminarium naukowe poświęcone Mikołajowi Kopernikowi w Forly (fot. Krzysztof Marciniak)

Następnego dnia, w sali miejskiej w Forly przy Piazza Saffi n. 8 odbyło się seminarium naukowe zatytułowane: „Mikołaj Kopernik. Co reprezentowała jego praca w dziedzinie historii nauki?”. Prelegentami byli: Giulio Peruzzi – prof. Historii Fizyki, Nauki i Techniki Uniwersytetu w Padwie i autorka niniejszego tekstu. Prof. Peruzzi zaprezentował dokonania Mikołaja Kopernika jako astronoma i matematyka, myśliciela i filozofa; wyjaśnił od strony naukowej, jak należy rozumieć sformułowanie „przewrót kopernikański”, dlaczego tezy Kopernika rzeczywiście miały charakter przewrotu filozoficznego i astronomicznego.

Autorka następnego wystąpienia zaprezentowała uczonego jako żołnierza, ekonomistę-autora słynnej tezy, iż gorszy pieniądź wypiera lepszy, lekarza, kartografa-autora pierwszej mapy Warmii. Poruszyła także kwestię narodowości Mikołaja Kopernika. Tłumaczenie symultaniczne prowadziła pani Monika Pelczar. Spotkanie prowadził pan Claudio Lelli — prezes Gruppo Astrofili Forlivesi.

Seminarium zostało objęte honorowym patronatem przez: Urząd Miasta Forly, Konsulat Generalny RP w Mediolanie, Ambasadę RP przy Watykanie, Ordo Equestris Beatissimae Claromontanae z Częstochowy i UAIP.

Region Emilia Romagna jest bardzo ściśle historycznie powiązany z Polską. Tu w Reggio – Emilia stacjonowały Legiony Dąbrowskiego i tu powstał nasz hymn narodowy; Bolonia i jej okolice zostały wyzwolone przez II Korpus Armii Generała Andersa. Niektórzy z mieszkańców pewnie jeszcze pamiętają wspaniały marsz żołnierzy po Via Emilia i wyzwolenie Bolonii. Pamiętają też pewnie niezwykłego „żołnierza” wkraczającego do miasta na czterech łapach, niedźwiedzia brunatnego – Wojtka, który brał także udział w bitwie pod Monte Cassino. W Bolonii znajduje się również park im. Generała Andersa i płaskorzeźba wykonana przez znanego polskiego rzeźbiarza, Igora Mitoraja.



Fot. 8. Cmentarz Żołnierzy II Korpusu Armii Generała Andersa – San Lazzaro di Savenna koło Bolonii (fot. Krzysztof Marciniak)



Fot. 9. Miejsce włożenia kamienia węgielnego pod budowę pomnika (fot. Krzysztof Marciniak)



Fot. 10. Płaskorzeźba upamiętniająca zdobycie Imoli (fot. Krzysztof Marciniak)



Fot. 11. Polski cmentarz we Włoszech – San Lazzaro di Savenna (fot. Krzysztof Marciniak)

Tu też znajduje się największy polski cmentarz we Włoszech – San Lazzaro di Savenna. Spoczywa tu 1432 żołnierzy. Na tym właśnie cmentarzu 13 kwietnia br. odbyła się msza święta i uroczystości z okazji 74 rocznicy wyzwolenia Bolonii. Uczestniczyli w nich uczniowie polskich szkół, członkowie polskich i włoskich stowarzyszeń, Polacy i Włosi mieszkający w regionie. Oficjalnie stronę polską reprezentowała pani Konsul Generalna i pan wicekonsul RP.

Na Uniwersytecie w Bolonii studiował także m.in. Mikołaj Kopernik, a na budynku przy via Galliera 65 znajduje się tablica informująca, że „Tu mieszkał Mikołaj Kopernik, genialny polski matematyk i astronom”.

Oddalona o ok. 60 km, a wspominana tu już w kontekście seminarium poświęconego Marii Skłodowskiej-Curie, Imola jest także miejscem, gdzie dba się o pamięć o polskich żołnierzach. W latach 1797 i 1802 stacjonowały tu dwukrotnie Legiony Dąbrowskiego. Imola została zdobyta 15 kwietnia 1945 r. w bitwie o Bolonię. Na skwerze przy Via Piscane odsłonięto w 2005 r. płaskorzeźbę upamiętniającą ten fakt. Tu także odbyła się uroczystość wmurowania kamienia węgielnego pod budowę pomnika generała Władysława Andersa. Autorem projektu jest włoski rzeźbiarz.



Fot. 12. Niedźwiedź – Wojtek, który brał udział w bitwie pod Monte Cassino

Podczas mego kilkudniowego pobytu w Forlì, Imoli i Bolonii w mojej świadomości zderzyły się dwa światy; ten naukowy, naznaczony przez postaci M. Skłodowskiej-Curie oraz Mikołaja Kopernika, oraz ten historyczny i patrio-

tyczny. Oba te światy łączyła duma z faktu, że jestem Polką, że polscy uczeni i żołnierze, swoim życiem, dokonaniem, wreszcie często swoją śmiercią w obronie wolności zapisali się na kartach historii innego kraju, całej Europy. W sposób niemal namacalny dało się podczas śpiewania hymnu narodowego odczuć jego słowa „z ziemi włoskiej do Polski”. Z dużym wzruszeniem patrzyłam na zaangażowanie Polaków, ale także i Włochów w organizację tych spotkań, w tworzenie kolejnych miejsc pamięci o polskich żołnierzach i o dbałość o prawdę historyczną tamtych miejsc.

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



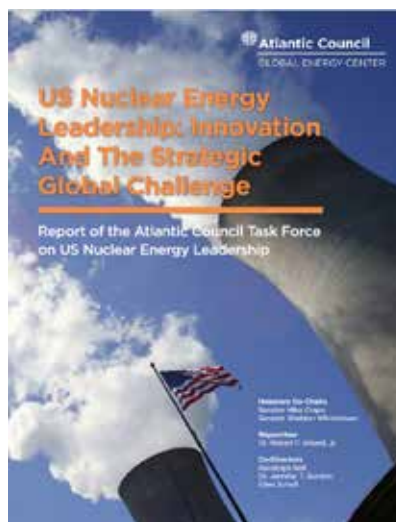
NOWA AMERYKAŃSKA KOALICJA PROJĄDROWA

Dyrektor Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Energii Pan Tomasz Nowacki w ramach działań Departamentu otrzymał wsparcie Ambasady RP ważne dla aktualizacji informacji na temat kierunków rozwoju energetyki jądrowej w USA. Poniżej tekst informacji przekazanej przez przedstawiciela Ambasady RP obecnego na spotkaniu zorganizowanym 21 maja br. w Waszyngtonie przez Atlantic Center.

Inicjatorem akcji był dyrektor IChTJ, który jest zapraszany na spotkania Atlantic Council.

Prof. Andrzej Chmielewski otrzymał też link do pełnego tekstu raportu, który był prezentowany podczas wspomnianego spotkania, którego stronę tytułową pokazujemy poniżej. Adres pod którym można znaleźć raport jest następujący:

<https://www.atlanticcouncil.org/publications/reports/us-nuclear-energy-leadership-innovation-and-the-strategic-global-challenge>



Fot. 1. Pierwsza strona raportu pt. *US Nuclear Energy Leadership: Innovation And The Strategic Global Challenge – Report of the Atlantic Council Task Force on US Nuclear Energy Leadership*

Jak można przeczytać na okładce kilkudziesięcio – stronicowego dokumentu został on opracowany przez specjalnie powołany przez Radę Atlantycką zespół zadaniowy (Task Force) do sprawy amerykańskiego przywództwa w dziedzinie energii jądrowej.

W zaproszeniu kierowanym do uczestników spotkania jego organizatorzy napisali, że Stany Zjednoczone przez dekady były globalnym liderem w cywilnej energetyce jądrowej. Obecnie owo przywództwo jest zagrożone przez wyzwania spowodowane ciągłym, przedwczesnym zamykaniem elektrowni jądrowych, osłabieniem możliwości produkcji paliwa jądrowego oraz przez rozwój programów jądrowych Rosji i Chin.

Wspomniany zespół pracował przez cały rok 2018, a celem tej pracy była ocena implikacji dla bezpieczeństwa narodowego USA obniżenia się możliwości amerykańskiego przemysłu jądrowego, a także sformułowanie odpowiednich rekomendacji w zakresie rozwijania innowacyjności, inwestowania w rozwój krajowego przemysłu jądrowego i eksport na rynek międzynarodowy.

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

W dniu 21 maja br. Atlantic Council (AC) zorganizował na Kapitolu prezentację raportu pt.: „US Nuclear Energy Leadership: Innovation and the Strategic Global Challenge”. Raport został przygotowany przez powołaną w 2018 r. przez Globalne Centrum Energetyczne w AC grupę zadaniową ds. przywództwa w dziedzinie energii jądrowej w USA. W wydarzeniu wzięli udział przedstawiciele amerykańskiej administracji (Departament Stanu i Departament Energii), sektora energetycznego, środowisk akademickich, think tanków, prasy oraz placówek dyplomatycznych (Japonia, Kanada, Chiny, Rumunia, Finlandia i Polska).

Podczas spotkania podkreślono, że cywilna energetyka jądrowa ma strategiczne znaczenie dla bezpieczeństwa narodowego USA; przyczynia się do dywersyfikacji koszyka energetycznego USA i tym samym zwiększa niezawodność dostaw energii elektrycznej; stanowi źródło dochodów z eksportu paliw, sprzętu i usług technicznych dla elektrowni jądrowych oraz jest korzystna w zakresie ochrony zdrowia i środowiska (ponieważ ma niższy ślad węglowy niż paliwa kopalne).

Ponadto wskazano, że pomimo, iż Stany Zjednoczone wciąż posiadają największą liczbę działających reaktorów na całym świecie (tj. 98; w 2018 r. wygenerowały one 19,3% energii i 55,2% produkcji bezemisyjnej), to zmniejsza się ich rola jako światowego lidera w cywilnej energii jądrowej i w międzynarodowym systemie bezpieczeństwa i nieprolifracji. Jest to rezultat przedwczesnego zamykania elektrowni jądrowych, problemów w budowie nowych,

trudności finansowe wiodących amerykańskich firm energetycznych, zmniejszenia się możliwości krajowego cyklu paliwowego w USA, zaniku łańcucha dostaw, konkurencji cenowej ze strony gazu i odnawialnych źródeł energii na rynkach regionalnych, prowadzenia ambitnych krajowych i międzynarodowych programów w obszarze energii jądrowej przez Rosję i Chiny (na które przypada ponad 60% obecnie budowanych elektrowni jądrowych). Dodatkowo USA tracą dotychczasowych głównych sojuszników w rozwoju cywilnej technologii jądrowej (Niemcy wycofują się z energii jądrowej; Francja planuje ograniczenie jej wykorzystania, a przyszłe stanowisko w tej sprawie Korei Południowej pozostaje niepewne). Pomimo powyższych trudności kraje takie jak Stany Zjednoczone, Kanada, Japonia, Republika Korei, Francja, Zjednoczone Królestwo, jak również Rosja, Chiny, Indie, podejmują wysiłki na rzecz rozwoju i komercjalizacji nowej generacji reaktorów jądrowych. Koszty opracowania reaktorów nowej generacji będą znaczne, ale potencjalne korzyści z ich przyszłego wdrożenia na dużą skalę mogą być ogromne. W związku z tym USA powinny wykorzystać posiadaną już wiedzę i doświadczenie w tym zakresie i przyspieszyć prace w tym obszarze.

W celu sprostania temu wyzwaniu AC powołał w zeszłym roku ww. specjalną grupę zadaniową, w skład której weszli eksperci z sektora prywatnego, organizacji nienastawionych na zys oraz urzędnicy zajmujący się kwestiami energetycznymi, środowiskowymi, polityką i technologią nuklearną oraz bezpieczeństwem wewnętrznym. Senatorowie Mike Crapo (R-ID) i Sheldon Whitehouse (D-RI) zostali jej honorowymi współprzewodniczącymi. Celem grupy było przygotowanie analizy i rekomendacji w odniesieniu do dalszego rozwoju amerykańskiej energetyki jądrowej w kontekście bezpieczeństwa narodowego.

W tym celu grupa zadaniowa przeprowadziła konsultacje z przedstawicielami amerykańskiej administracji oraz Kongresu w czterech obszarach: zachowania dotychczasowych elektrowni jądrowych rozwoju i komercjalizacji zaawansowanych reaktorów; eksportu i konkutowania na światowych rynkach jądrowych oraz wzmocnienia cyklu paliwowego (dostawa, bezpieczeństwo i nieprolifracja).

Głównym zaleceniem przedstawionym przez grupę zadaniową jest podjęcie przez Stany Zjednoczone zdecydowanych działań na rzecz odzyskania przywództwa w obszarze cywilnej energetyki jądrowej. Cel ten może zostać zrealizowany poprzez włączenie energetyki jądrowej do amerykańskiej strategii bezpieczeństwa narodowego i ustanowienie skutecznego przywództwa w tym zakresie w celu wypracowania międzyresortowego konsensusu w oparciu o partnerstwo publiczno-prywatne. USA powinny też opracować i wdrożyć reaktor nowej generacji i jednocześnie utrzymać dotychczas posiadane elektrownie jądrowe zgodnie z krajowymi normami bezpiecznego działania i międzynarodowych standardów dotyczących nieprolifracji.

W ocenie grupy zadaniowej rozwój przemysłu jądrowego może przynieść Stanom Zjednoczonym znaczące korzyści w obszarze bezpieczeństwa, gospodarki i środowiska, a także zapewnić konkurencyjność na arenie międzynarodowej. Natomiast eksport nowoczesnych technologii jądrowych będzie dodatkowo wspierać starania USA na rzecz utrzymania międzynarodowych standardów zapewniających bezpieczne działanie elektrowni jądrowych, jak i pozwoli Stanom Zjednoczonym na utrzymanie pozycji lidera w globalnej nieprolifracji. Działania w tym zakresie powinny zostać rozpoczęte niezwłocznie, ponieważ odzyskanie międzynarodowego przywództwa będzie wymagało wielu lat nieustającego wysiłku. Podczas spotkania poruszono też m.in. kwestie związane z możliwym wykorzystaniem przez niektóre kraje technologii jądrowej do celów militarnych, współpracy Turcji i Węgier z Rosją, jak również przewidywany znaczący wzrost zapotrzebowania na energię przez kraje spoza OECD i możliwość zapełnienia tej luki przez USA.

Ambasada Rzeczypospolitej Polskiej w Waszyngtonie



DEKLARACJA ICAPP

My, niżej podpisani,

Naukowcy, mężczyźni i kobiety, inżynierowie i eksperci, reprezentujący krajowe, regionalne i międzynarodowe stowarzyszenia naukowe i wiele organizacji technicznych działających na rzecz rozwoju i pokojowego wykorzystania technologii jądrowej zbieramy się dziś w Juan-les-Pins, we Francji.



Fot. 1. Zdjęcie grupowe z podpisania deklaracji



Zgadzamy się, ze stwierdzeniem, że zmiana klimatu stanowi największe współczesne zagrożenie dla naszej planety oraz z celami i założeniami Porozumienia paryskiego, by ograniczyć, do końca bieżącego stulecia, globalne ocieplenie do poziomu znacznie poniżej 2°C powyżej poziomu przed-przemysłowego z podjęciem dalszego wysiłku ograniczenia wzrostu temperatury do 1,5°C.

Martwimy się faktem, że świat nie nadąża w rozwoju, w zakresie osiągnięcia tego celu.

- Najnowsze doniesienia Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) wydają jasne ostrzeżenie - 1,5°C wzrost temperatury może zostać odnotowany do 2030 r.
- Zgodnie z doniesieniami Międzynarodowej Agencji Energii (IEA), w ciągu 2018 r. odnotowano wzrost globalnej emisji CO₂ związanej z energetyką o 1,7% do nieodnotowywanego do tej pory poziomu 33,1 Gt CO₂.

Przypominamy, że:

- Energia jądrowa jest uznawana za taką, z którą wiąże się najmniejsza emisja dwutlenku węgla przy produkcji prądu. Zgodnie z IPCC, mediana emisji w cyklu życia dla energii jądrowej wynosi 12g/kWh, podobnie jak ma to miejsce w przypadku turbin wiatrowych.
- Organizacje międzynarodowe, takie jak Organizacja Narodów Zjednoczonych, Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju czy UE są przekonane, że wszystkie technologie niskoemisyjne (energia odnawialna, jądrowa, i sekwestracja dwutlenku węgla) powinny być wdrażane, celem osiągnięcia głębokiej dekarbonizacji do połowy bieżącego stulecia. Ma to swoje odzwierciedlenie w najnowszym raporcie IPCC na rok 2018. Cztery główne scenariusze ograniczenia ocieplenia do 1,5°C zakładają zwiększenie udziału energii jądrowej, do poziomu od 2 do 6 krotnie wyższego do roku 2050.

O potrzebie innowacji w dziedzinie energii jądrowej:

Zwracamy uwagę, że:

- Globalnie osiągnięto konsensus: przyspieszenie innowacyjności w polu czystej energii jest kluczowe dla ograniczenia wzrostu temperatur na świecie i poczyniono już pewne postępy w tymże kierunku. Jak podaje IEA, kwota inwestycji w działania BiR w obszarze czystej energii od 2000 r. podwoiła się. Ponadto, uruchomienie w 2015 r. inicjatywy Mission Innovation zakłada podwojenie inwestycji w badania nad niskoemisyjnymi źródłami energii w horyzoncie czasowym do 2020 r.

Podkreślamy, iż:

- Obecny poziom wsparcia publicznego dla badań jądrowych (zarówno nad rozszczepieniem, jak i fuzją) pozostaje niezmienny (4 mld USD rocznie, zgodnie z wartością na rok 2014) od roku 2000, w sytuacji definiowanej jako normalna.

Co więcej, w wielu państwach sektor prywatny niechętnie czyni inwestycje w rozwój technologii jądrowych z wielu powodów, w tym z uwagi na mieszane bądź negatywne sygnały polityczne, czy też naturę rynku energii, która miała negatywny wpływ na case biznesowy energii jądrowej i percepcję poziomu ryzyka finansowego, jakiemu sprostać muszą prywatni inwestorzy.

Wskazujemy, że:

- Sektor energii jądrowej obecnie podejmuje wysiłki związane z nowymi, kreatywnymi działaniami odnoszącymi się do innowacyjnych technologii reaktorowych (np. małe reaktory modułowe, reaktory IV generacji) czy technologie przekrojowe, takie jak na przykład transformacja cyfrowa, a także nowe zastosowania, takie jak odsalanie wody, ciepłownictwo, ciepło technologiczne w przemyśle czy produkcja wodoru. Wszystkie powyższe działania wymagają znacznych nakładów w dziedzinie BiR, inwestycji i innowacyjnego podejścia.
- Spodziewane jest, że projekty te otworzą nowe możliwości rynkowe wykorzystania energii jądrowej i innych czystych źródeł energii, często w sektorach, gdzie będzie mieć to znaczenie decydujące w zakresie wspomagania procesu dekarbonizacji, na przykład w dziedzinie ogrzewania.

Jednocześnie sporo infrastruktury BiR staje się przestarzałe, konieczne jest jej odnowienie. Nie tylko w celu wsparcia rozwoju tych nowoczesnych reaktorów, ale także na potrzeby produkcji radioizotopów niezbędnych do rozwijania medycyny nuklearnej.

Niniejszym deklarujemy, że:

Prosimy o to, by:

konferencja ministerialna na temat czystej energii (Clean Energy Ministerial Conference) włączyła innowacje w obszarze energetyki jądrowej na poziom sze-

roko zakrojonych wielostronnych dyskusji na temat czystej energii na poziomie zarówno ministerialnym, jak i roboczym, tak by energia jądrowa była w stanie sprostać oczekiwaniom co do jej wkładu w portfolio czystej energii ukierunkowanym na dekarbonizację. Zwracamy się również o podwojenie wydatków publicznych w obszarze nuklearnych badań i rozwoju w ciągu pięciu lat, z naciskiem położonym na innowacyjne zastosowania zaawansowanych systemów jądrowych, co z kolei przyczyni się do osiągnięcia czystego miksu energetycznego w przyszłości.

Deklaracja została przekazana decydom w czasie spotkania Clean Energy Ministerial w Vancouver, które odbyło się w tym tygodniu (27-29 maja br.). Na szczelbu rządowym Polskę reprezentował Michał Kurtyka.

Oraz

Zdecydowaliśmy się łącznie podpisać niniejszą deklarację i chcielibyśmy zwrócić na nią uwagę światowych decydentów.



Paweł Gajda,
AGH Akademia Górniczo-Hutnicza,
Wydział Energetyki i Paliw,
Katedra Energetyki Jądrowej

PREMIER MATEUSZ MORAWIECKI POGRATULOWAŁ LAUREATOM KONKURSU „TEAMING FOR EXCELLENCE”

Premier Mateusz Morawiecki pogratulował laureatom konkursu „Teaming for Excellence” w ramach konkursu programu Horyzont 2020. Przyznanych zosta-

ło 13 grantów o łącznej wartości 195 mln euro, w tym trzy instytucje z Polski Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych oraz Narodowe Centrum Badań Jądrowych. Celem konkursu jest minimalizacja różnic w innowacyjności między poszczególnymi regionami Europejskiej Przestrzeni Badawczej poprzez tworzenie nowych lub modernizację już istniejących Centrów Doskonałości we współpracy z wiodącymi instytutami badawczymi oraz agencjami ds. badań w Europie.



Fot.1. Premier Mateusz Morawiecki podziękował wszystkim, którzy przyczynili się do przygotowania projektu NOMATEN (fot. NCBJ)

Projekt NOMATEN ma na celu stworzenie silnego centrum naukowego, które korzystając z unikatowej jądrowej struktury badawczej i doświadczenia naukowców z Polski i innych krajów europejskich będzie prowadzić badania i przygotowywać produkcję najwyższej klasy innowacyjnych materiałów przydatnych do pracy w ekstremalnie trudnych warunkach w przemyśle i odpowiadających najwyższym standardom medycznym.

Projekt przygotowało międzynarodowe konsorcjum w składzie: Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives (CEA, Francja); Teknologian Tutkimuskeskus VTT Oy (VTT, Finlandia). Partnerzy otrzymali wsparcie Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Badacze zmierzają się przede wszystkim z wyzwaniami jakie dla materiałów stanowią takie czynniki jak wysokie temperatury, wysokie ciśnienia, promieniowanie (zwłaszcza neutronowe), korozja, intensywne ścieranie itp. Część z tych czynników jest wspólna dla różnych obszarów zastosowań takich jak przemysł jądrowy czy przemysł chemiczny, a część jest specyficzna, występująca obecnie tylko w przypadku niektórych zastosowań. Jednak wiele przykładów dowodzi, że stworzenie nowatorskich materiałów potrzebnych dla jednego celu lub nawet dla potrzeb unikalnych badań naukowych, prowadzi do opracowania rozwiązań przydatnych do innych, nieprzewidywanych początkowo celów. Szczególne miejsce w programie badawczym Centrum będą miały nowe materiały tworzone z myślą o zastosowaniach w medycynie w tym w radiofarmacji.

Realizacja projektu we współpracy z najlepszymi i doświadczonymi ośrodkami badawczymi w Europie (VTT, CEA) otworzy nowe możliwości dla młodych pracowników naukowych zapewniając im odpowiednie warunki rozwoju w prężnie rozwijających się dziedzinach. W konsekwencji wzrośnie prestiż i potencjał badawczy NCBJ zaznaczając jego pozycję silnego ośrodka badawczego o znaczeniu europejskim i światowym.

Centrum Doskonałości NOMATEN rozpoczęło swoją działalność jesienią 2018 r. jako projekt Międzynarodowej Agendy Badawczej, która uzyskała wsparcie ze środków Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Już w pierw-

szych miesiącach działalności naukowcy włączyli się w dwa istotne projekty badawcze. GO-HTR to projekt finansowany przez NCBiR i poświęcony technologii reaktorów wysokotemperaturowych w ramach programu Gospostrateg. Drugi to projekt w ramach współpracy Polski i Republiki Południowej Afryki. Ma on nazwę INLAS i zmierza do opracowania lepszych i czystszych technologii spalania węgla.

Marek Pawłowski,
rzecznik Narodowego Centrum Badań Jądrowych,
Warszawa

Narodowe Centrum Badań Jądrowych jest instytutem badawczym działającym na podstawie przepisów ustawy o instytutach badawczych z dnia 20 kwietnia 2010 r. (Dz.U. 2010 Nr 96 poz. 618; z późniejszymi zmianami). Ministrem nadzorującym instytut jest minister energii. NCBJ jest największym instytutem badawczym w Polsce zatrudniającym ponad 1100 pracowników, w tym ponad 200 osób ze stopniem naukowym doktora, z czego ok. 60 osób ma status samodzielnych pracowników naukowych. W NCBJ pracuje ponad 200 osób z tytułem zawodowym inżyniera. Główna siedziba instytutu znajduje się w Otwocku w dzielnicy Świerk, gdzie zlokalizowany jest ośrodek jądrowy należący do NCBJ, w tym reaktor badawczy MARIA. Instytut prowadzi badania naukowe i prace rozwojowe oraz wdrożeniowe w obszarze powiązany z szeroko rozumianą fizyką subatomową, fizyką promieniowania, fizyką i technologiami jądrowymi oraz plazmowymi, fizyką materiałową, urządzeniami do akceleracji cząstek oraz detektorami, zastosowaniem tych urządzeń w medycynie i gospodarce oraz badaniami i produkcją radiofarmaceutyków. Instytut posiada najwyższą kategorię A+ przyznaną w wyniku oceny polskich jednostek naukowych dokonanej w 2017 r. Pozycję naukową instytutu wyznacza także liczba publikacji (ok. 500 rocznie) i liczba cytowań mierzona indeksem Hirscha (ponad 160). Są to wartości lokujące NCBJ w pierwszej piątce wśród wszystkich jednostek badawczych i akademickich w Polsce prowadzących porównywalne badania.

III KONGRES ELEKTRYKI POLSKIEJ ZAKOŃCZYŁ OBRADY



Przyjęciem Uchwały zakończyły się 3 kwietnia br. w Warszawie dwudniowe obrady III Kongresu Elektryków Polskich. Kongres zwołało obchodzące w bieżącym roku 100-lecie swego powstania Stowarzyszenie Elektryków Polskich. Współorganizatorami Kongresu były: Politechnika Warszawska, Wojskowa Akademia Techniczna, Uniwersytet Kardynała Stefana Wyszyńskiego i Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT.



Fot. 1. Minister Krzysztof Tchórzewski otwiera III Kongres SEP (fot. Stanisław Latek)



Fot. 2. Uczestnicy jednej z sesji plenarnych Kongresu (fot. Stanisław Latek)



Fot. 3. O energetyce jądrowej mówił na Kongresie prof. Andrzej Strupczewski (fot. Stanisław Latek)

W Kongresie wzięli udział m.in. Krzysztof Tchórzewski, minister energii, a zarazem Przewodniczący Komitetu Honorowego Obchodów 100-lecia SEP, prof. Andrzej Zybortowicz, doradca Prezydenta RP, Karol Okoński, sekretarz stanu w Ministerstwie Cyfryzacji, Maciej Bando, prezes Urzędu Regulacji Energetyki, Tomasz Schweitzer, prezes Polskiego Komitetu Normalizacji, Andrzej Ziółkowski, prezes Urzędu Dozoru Technicznego oraz prezesi i przewodniczący Komitetów Naukowych PAN, dyrektorzy Instytutów Badawczych związanych z obszarem elektrotechniki, elektroniki, energetyki, telekomunikacji oraz informatyki, nauczyciele akademicy z wyższych uczelni technicznych, a także reprezentanci świata gospodarczego i przemysłowego związanego z elektryką. W Kongresie uczestniczyli również goście z kilku uczelni i instytucji zagranicznych.



Fot. 4. Dyskusje prowadzone były także podczas przerw w obradach (fot. Stanisław Latek)

Uczestnicy Kongresu przedyskutowali podczas sesji plenarnych i sekcji tematycznych szerokie spektrum problematyki nowoczesnej elektryki: elektrotechniki, elektroenergetyki, elektroniki, informatyki i dyscyplin pokrewnych, w tym nowych technologii w przemyśle.

Po dyskusjach, bardzo często burzliwych, w których zabierało głos wielu dyskutantów, podjęto Uchwałę, która zapowiada publikację Raportu podsumowującego dorobek III KEP. Raport, po jego przyjęciu podczas debaty podsumowującej III KEP, będzie promowany i przekazany właściwym instytucjom i urzędom jako efekt pracy eksperckiej uczestników Kongresu. Stwierdzono również, że nadal aktualne są wnioski i stanowiska zawarte w Raporcie II Kongresu z 2016 r. – „Energia elektryczna dla pokoleń”.

Do końca 2019 r. zostanie przeprowadzony plebiscyt wyróżniających się osobowości oraz ranking stulecia najważniejszych osiągnięć polskiej nauki i techniki w obszarze szeroko rozumianej elektryki.

Uczestnicy Kongresu zwrócili się także do Sejmu RP o podjęcie okolicznościowej uchwały w sprawie uczczenia 100-lecia powstania Stowarzyszenia Elektryków Polskich.

Janusz M. Kowalski,
Rzecznik prasowy III KEP,
Stowarzyszenie Elektryków Polskich,
Warszawa

UCZESTNICTWO IChTJ W 23. PIKNIKU NAUKOWYM

Na Stadionie PGE Narodowy w Warszawie odbył się w dniu 11 maja 2019 r. 23. Piknik Naukowy, zorganizowany przez Polskie Radio i Centrum Nauki Kopernik. Historia Pikniku Naukowego to przykład wydarzenia kulturalno-naukowego, które zainicjonowane przez środowisko naukowe, spotkało się z dużym zainteresowaniem społecznym i przez lata ewoluując, budzi niegasnące zainteresowanie. Pierwszy Piknik Naukowy odbył się w 1997 r. na Rynku Starego Miasta w Warszawie. Wzięło w nim udział 17 instytucji naukowych oraz ok. 3 tys. zwiedzających. Przez kolejne lata, formuła tej imprezy nabierała coraz większego rozmachu i prestiżu, co znajdowało odzwierciedlenie w rosnącej liczbie wystawców oraz zwiedzających. Od 2008 r. Piknik organizowany jest wspólnie przez Polskie Radio i Centrum Nauki Kopernik, a od 2013 r. impreza ta odbywa się na Stadionie Narodowym w Warszawie. Co roku uczestniczy w nim ok. 200 instytucji z Polski i całego świata,

a liczba osób zwiedzających utrzymuje się na poziomie powyżej 100 tys. Różnorodność reprezentowanych dyscyplin naukowych, zarówno nauk ścisłych, humanistycznych, przyrodniczych, jak i społecznych oraz wielorakich pokazów i prezentacji, umożliwia poznanie oraz zrozumienie zjawisk zachodzących w naszym otoczeniu. Na atrakcyjność tego wydarzenia wpływa również fakt, że od 2001 r. każdy Piknik ma inny temat przewodni. W związku z tym, na kolejnych edycjach Pikniku prezentowane są nowe zdobycze myśli naukowej, nieszablonowe pokazy, zmuszające zwiedzających do abstrakcyjnego myślenia i stawiania różnorodnych pytań, na które nie zawsze istnieją proste odpowiedzi. Taka formuła, polegająca na otwartej dyskusji naukowej, wymianie poglądów, tworzy między wystawcami a zwiedzającymi szczególną synergię, będącą jednocześnie inspiracją dla obydwu stron.

W tym roku tematem przewodnim Pikniku Naukowego był „My i Maszyny”. Piękna pogoda, wieloletnia tradycja tej imprezy oraz nieustanne poszukiwanie odpowiedzi na nurtujące nas pytania z dziedziny nauki, ściągnęły na Stadion PGE Narodowy tłumy gości.



Fot. 1. Stoisko IChTJ podczas Pikniku Naukowego 2019 (źródło IChTJ)



Fot. 2. Doktoranci oraz zwiedzający stoisko IChTJ podczas Pikniku Naukowego (źródło IChTJ)



Fot. 3. Na stoisku nie zabrakło bezpłatnych egzemplarzy *Postępów Techniki Jądrowej* kwartalnika popularyzującego wiedzę o energetyce jądrowej (fot. Stanisław Latek)

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, związany już historycznie z Piknikiem Naukowym, przedstawił szereg tematów, w tym również nawiązujących do własnych wyników badań i działalności naukowej. Reprezentanci naszego Instytutu, wywodzący się przede wszystkim ze Studiów Doktoranckich, dzięki dużej wiedzy i umiejętnościom dydaktycznym, potrafili zainteresować i przekazać swoją wiedzę każdej grupie wiekowej, poczynawszy od najmłodszych, a skończywszy na seniorach. Od momentu rozpoczęcia aż do zakończenia Pikniku Naukowego, stanowisko wystawowe IChTJ było nieustannie oblegane przez uczestników tego wydarzenia. Dostosowując się do hasła tegorocznego Pikniku, „My i Maszyny”, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej zaprezentował kilka pokazów, które miały szczególne powiązanie z sektorem energetyki jądrowej. Na stanowisku bramki dozymetrycznej, wyposażonej w czujniki na stopy i dłonie, zwiedzający mieli okazję osobiście zapoznać się z zasadami działania tego urządzenia oraz dowiedzieć się o poziomach i rodzajach promieniowania, a także o jego powszechnym występowaniu w środowisku. Na każdym miejscu na Ziemi, w mniejszym lub większym stopniu, występuje promieniowanie tła i ma ono przyczyny zarówno naturalne, jak i sztuczne. Stała ekspozycja na niskie wartości radiacji jest zjawiskiem powszechnym, uzależnionym również od położenia geograficznego. Prowadzący zademonstrowali aktywność promieniotwórczą różnego rodzaju przedmiotów powszechnego użytku, omawiając przy okazji zasady działania detektorów promieniowania, w tym licznika Geigera-Müllera, sondy alfa oraz detektora półprzewodnikowego. Inny pokaz dotyczył prezentacji Stacji Sterylizacji Wyrobów Medycznych i Przeszczepów IChTJ. Jest to jedyny w Polsce ośrodek zajmujący się sterylizacją radiacyjną wysokoenergetycznymi elektronami. Sterylizacja radiacyjna wykorzystuje silne właściwości bakterioobójcze promieniowania jonizującego, gdyż zarówno strumień kwantów promieniowania gamma, jak

i wiązka przyspieszonych elektronów powoduje nieodwracalne uszkodzenia błon komórkowych oraz zakłócenia procesu replikacji. Metodę tą stosuje się m.in. do:

- sterylizacji wyrobów medycznych, produktów leczniczych, kosmetyków,
- sterylizacji przeszczepów biostatycznych i materiałów biomedycznych,
- modyfikacji półprzewodników i pokrewnych produktów elektronicznych,
- sieciowania polimerów,
- higienizacji i utrwalania artykułów rolno-spożywczych, tj. przypraw suchych korzennych i warzywnych,
- odkażania i dezynsekcji archiwaliów, zbiorów bibliotecznych i muzealnych.

Kolejna prezentacja dotyczyła możliwości wykorzystania promieniowania jonizującego i sond scyntylacyjnych w przemyśle rafineryjnym. Techniki jądrowe wykorzystuje się do dokładnej kontroli szczelności (ewentualnej lokalizacji nieszczelności) rurociągów, wymienników ciepła, reaktorów chemicznych, kolumn rektyfikacyjnych i destylacyjnych, cold-boksów, zbiorników podziemnych i naziemnych oraz innych instalacji przemysłu petrochemicznego. Urządzenia bazujące na wykorzystaniu metody radioznacznikowej pozwalają na dokonywanie pomiarów w trudno dostępnych sieciach wodociągowych, ściekowych, transportu mediów, jak również w obiektach o dużej wysokości i małej średnicy, oraz obiektach z wewnętrznymi wykładzinami lub wypełnionych katalizatorem.

Dziękujemy doktorantom oraz pracownikom naszego Instytutu.

Krzysztof Krukowski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

16. EDYCJA NOCY MUZEÓW

W Warszawie w dniu 18 maja br. odbyła się kolejna, już 16. edycja Nocy Muzeów, podczas której różne placówki, instytucje i muzea udostępniły zwiedzającym bezpłatnie swoje wnętrza i najciekawsze zbiory. Noc Muzeów to ogólnopolska akcja, do której corocznie włącza się ok. 150 miast. Warto wspomnieć, że po raz pierwszy tego rodzaju impreza kulturalna zorganizowana została w 1997 r. w Berlinie, a następnie w Paryżu, Amsterdamie i sukcesywnie w innych miastach Europy. W Polsce pierwszą Noc Muzeów organizowa-

wano w 2003 r. w poznańskim Muzeum Narodowym. W Warszawie odbyła się ona rok później. Uczestniczyło w niej 11 muzeów, które odwiedziło 16 tys. osób. Przez te kilkanaście lat wydarzenie to nabierało coraz większego znaczenia, by stać się dzisiaj nieodzownym elementem życia kulturalnego stolicy. W ubiegłym roku udział w nim wzięło ponad 230 różnych placówek, w tym oprócz muzeów; kina, teatry, ambasady oraz ok. 200 tys. zwiedzających. **Instytut Chemii i Techniki Jądrowej** od wielu lat aktywnie angażuje się w to przedsięwzięcie, urządzając specjalne pokazy w Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie.

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej podczas Nocy Muzeów 2019, organizowanej w Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie



Fot. 1. Aby odwiedzić Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie na Freta trzeba było stać w kolejce



Fot. 2. O chemii jądrowej opowiadali pracownicy i doktoranci z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej



Fot. 3. Pokazy m. in. najnowszych trendów w badaniach naukowych (źródło: IChTJ)



W tym roku przedstawiciele naszego Instytutu, wywodzący się przede wszystkim ze środowiska doktoranckiego, zorganizowali wiele ciekawych prezentacji, które cieszyły się ogromnym zainteresowaniem zwiedzających. Nie bez znaczenia jest fakt, że ci młodzi adepci nauki, już dziś posiadający specjalistyczną wiedzę, potrafią przekazać ją w sposób nieszablony, tłumacząc często trudne zjawiska i definicje naukowe w sposób prosty a jednocześnie ciekawy. Bazując na osiągnięciach badawczych oraz wynikach prac naukowych IChTJ prowadzonych w dziedzinie energetyki jądrowej, zorganizowali pokazy dla szerokiej rzeszy publicz-

ności, uwzględniając ich przedział wiekowy oraz różny stopień wiedzy. Dla najmłodszych widzów przygotowano pokazy chemiczne oraz ekspozycję z „komorą rękawicową”, gdzie uczestniczące w prezentacji dzieci miały do wykonania różne zadania z użyciem klocków, pipet i zlewek. Na stanowisku z bramką dozymetryczną, każdy mógł dokonać pomiarów skażenia rąk i obuwia, dowiedzieć się o możliwościach wykrywania promieniowania oraz zastosowaniach urządzeń dozymetrycznych w obiektach przemysłowych, medycynie, górnictwie i innych dziedzinach życia. Kolejną część wystawy dotyczyła promieniowania i jego rodzajów.

Zebrani goście mieli okazję zapoznać się z naturą promieniowania jonizującego i dowiedzieć się, że promieniowanie nie wynika tylko z działalności człowieka, ale pochodzi ono również ze źródeł naturalnych, występujących w przyrodzie i otaczającym nas środowisku. Każdy z chętnych mógł zmierzyć radioaktywność takich przedmiotów.

Podczas prezentacji „Magic bullet” (tzw. magiczna kula) zademonstrowane zostały najnowsze trendy w badaniach naukowych z zakresu terapii i diagnostyki nowotworów. W oparciu o wynalazki naszego Instytutu oraz stosowane na całym świecie metody leczenia, pokazano

możliwość zastosowania radiofarmaceutyków w celowanej terapii antynowotworowej i w diagnostyce.

Ta jedyna noc w roku, na pewno długo pozostanie w pamięci zwiedzających. Dziękujemy doktorantom oraz pracownikom naszego Instytutu za udział w tym wydarzeniu i mamy nadzieję, że za rok spotkamy się i będziemy świadkami podobnych emocji oraz pozytywnych wrażeń.

Krzysztof Krukowski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

WSPOMNIENIE



ŻYCIORYS PROFESORA ANDRZEJA ZYGMUNTA HRYNKIEWICZA



Fot. 1. Prof. Andrzej Zygmunt Hrynkiwicz

Profesor Andrzej Zygmunt Hrynkiwicz urodził się 29 maja 1925 r. w Wilnie. Zdał maturę na kompletach tajnego nauczania w 1943 r., po czym rozpoczął studia na tajnym Uniwersytecie Stefana Batorego. W 1945 r. został aresztowany przez NKWD i zesłany do pracy w kopalni węgla w Zagłębiu Donieckim. Po 9 miesiącach jako niezdolny do ciężkiej pracy fizycznej został zwolniony i powrócił do Polski. Rozpoczął studia fizyczne najpierw na Uniwersytecie Mikołaja Kopernika, a potem na Uniwersytecie Jagiellońskim w Krakowie. W 1946 r. został zatrudniony jako młodszy asystent w Zakładzie Fizyki UJ kierowanym przez prof. Henryka Niewodniczańskiego. Stopień doktora uzyskał w roku 1950, a tytuł docenta w 1954 r. Tytuł profesora uzyskał w roku 1969.

Prowadził badania naukowe w zakresie: fizyki jądra atomowego, fizyki fazy skondensowanej oraz fizyki medycznej. Razem z prof. Jackiem Hennelem uruchomił w roku 1953 pierwszy w Polsce spektrometr magnetycznego rezonansu jądrowego. Przy użyciu protonów i cząstek alfa przyspieszonych w krakowskim cyklotronie C-48 otrzymał pierwsze na świecie widma metodą rozpraszania wstecznego Rutherforda (RBS). Prowadził również badania materii skondensowanej metodą spektroskopii mossbauerowskiej. Miał znaczne osiągnięcia w badaniu procesów kanałowania cząstek naładowanych w monokryształach oraz w pomiarach śladowych stężeń pierwiastków w różnych materiałach metodą PIXE.

Wiedzę i doświadczenie naukowe zdobywał i pogłębiał w szeregu najlepszych laboratoriów świata: MIT w USA, ZIBJ w Dubnej, Centrum Badań Jądrowych CNRS w Strasbourgu

i w Uniwersytecie w Nancy (Francja), Uniwersytecie w São Paulo (Brazylia) i Uniwersytecie w Leuven (Belgia). Z każdego dłuższego wyjazdu przywoził nową metodę badawczą. W latach 1958-1959 podczas pobytu w Stanach Zjednoczonych w MIT (Cambridge) wspólnie z prof. Martinem Deutch opracowali metodę zaburzonych korelacji kierunkowych i dokonali pierwszego pomiaru. Metodę tą do Laboratorium Reakcji Jądrowych wprowadził prof. Hrynkiwicz. Wykorzystywana była do pomiaru momentów magnetycznych stanów wzbudzonych jąder atomowych lub wewnętrznych (nadsubtelnych) pól magnetycznych. Do dzisiaj cytowane są wartości nadsubtelnych pól magnetycznych na jądrach cynku, kadmu i selenu w żelazie, kobaltie i niklu zmierzone w LRJ przez prof. Andrzeja Hrynkiwicz i jego ówczesnego doktoranta (dziś profesora) Krzysztofa Królasa.

Wyniki badań prezentował, wizytując ponad 100 instytutów naukowych, a także na kilkudziesięciu konferencjach i szkołach naukowych. Był członkiem komitetów naukowych ok. 30 konferencji międzynarodowych, przewodniczącym Rad Naukowych kilku polskich instytutów. Był przewodniczącym Komitetu Organizacyjnego 29 Szkół Fizyki w Zakopanem, które w roku 1973 uzyskały status międzynarodowych i przekształciły się w znane w świecie konferencje naukowe „School of Physics”.

Rezultaty jego badań naukowych przedstawione zostały w 160 publikacjach, z czego 118 w czasopismach o światowej renomie, 4 monografiach i 44 artykułach popularnonaukowych. Był promotorem 45 doktorów, z których 9 uzyskało tytuły profesora, a 9 ma stopnie doktora habilitowanego.

Podkreślić należy jego duże zdolności organizacyjne. Był dyrektorem Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego (1969-1972), dyrektorem Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk w Krakowie (1969-1976), wicedyrektorem ZIBJ (1966-1968). Istotnie przyczynił się do rozwoju ZIBJ podczas transformacji systemu społeczno-politycznego w naszych krajach w latach 90. Był Pełnomocnym Przedstawicielem Rządu RP w ZIBJ w latach 1991-2007. Prof. Andrzej Hrynkiwicz wniósł znaczący wkład w rozwój nowoczesnej polskiej fizyki. Jego mądre i przemyślane działania podnosiły rangę polskiej fizyki w świecie oraz Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych.

Cieszył się olbrzymim szacunkiem i uznaniem środowiska naukowego. Otrzymał godność doktora honoris causa trzech polskich uczelni oraz godność honorowego doktora ZIBJ. Był członkiem Polskiej Akademii Nauk od roku 1969, a Polskiej Akademii Umiejętności od roku 1989, członkiem tytularnym Europejskiej Akademii Nauki, Sztuki i Literatury, członkiem Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego i wielu znakomitych towarzystw naukowych. Kilkakrotnie był

wybierany przez polskich profesorów do Centralnej Komisji Tytułów i Stopni Naukowych, Komitetu Badań Naukowych i innych organów decydujących o rozwoju naukowych i finansowaniu polskiej fizyki.

Prof. Andrzej Hryniewicz był nieustrudzonym popularyzatorem nauki o ochronie środowiska. Miał ogromny wkład w kształcenie społeczeństwa w zakresie czystych ekologicznie metod wytwarzania energii. Był gorącym zwolennikiem energetyki jądrowej. Uważał, że obawa przed energetyką jądrową wynika jedynie z braku rzetelnej wiedzy na jej temat.

W 1996 r. Andrzej Hryniewicz otrzymał nagrodę Prezesa Rady Ministrów RP za całokształt działalności naukowej, a w 2005 r. najwyższe państwowe odznaczenie – Wielki Krzyż Orderu Odrodzenia Polski.

Bez wątpienia był jedną z najwybitniejszych postaci polskiej fizyki po roku 1945.

Zmarł 13 października 2016 r. w Krakowie. Pozostawił żonę Halinę i córkę Agnieszkę.

*Mieczysław Budzyński,
Instytut Fizyki Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej,
Lublin*

*Michael Waligórski,
Instytut Fizyki Jądrowej PAN,
Kraków*

*Władysław Chmielowski,
Zjednoczony Instytut Badań Jądrowych, Dubna*



MARTA WASILEWSKA– RADWAŃSKA (1938 R. – 2019 R.)



Fot. 1. Dr hab. Marta Wasilewska Radwańska, prof. AGH

W dniu 25 kwietnia 2019 r. zmarła nagle po krótkiej chorobie śp. dr hab. Marta Wasilewska Radwańska, prof. Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, przez ostatnich 16 lat aktywna uczestniczka prac Komisji Egzaminacyjnej Prezesa PAA na stanowiska istotnego dla zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w zakresie specjalności związanych z medycznymi zastosowaniami promieniowania jonizującego, wielokrotnie przewodnicząca składom egzaminacyjnym.

Marta Wasilewska-Radwańska urodziła się w 1938 r. w Krakowie. Jej kariera naukowa rozpoczęła się w latach 60. i była ukierunkowana na zagadnienia związane z wykorzystaniem radioizotopowych metod analitycznych. Była twórcą i opiekunem specjalności Fizyka Medyczna i Dozymetria na Wydziale Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Przez wiele lat prowadziła wykłady dla studentów i doktorantów AGH, jednocześnie piastując funkcję kierownika Katedry Fizyki Medycznej. W latach 1979-1989 piastowała funkcję zastępcy dyrektora

Międzyresortowego Instytutu Fizyki Medycznej, a w latach 2001-2011 wiceprezesa i sekretarza Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej oraz przewodniczącą *Education and Training Committee EFOMP*¹, a także Zespołu ds. Radiobiologii i Higieny Radiacyjnej Komitetu Fizyki Medycznej, Radiobiologii i Diagnostyki Obrazowej Wydziału V Nauk medycznych PAN, równolegle uczestnicząc w latach 2003-2019 w pracach naszej komisji egzaminacyjnej. Za swoją działalność naukową, dydaktyczną i organizacyjną była wielokrotnie nagradzana. W 1996 r. została odznaczona Medalem Edukacji Narodowej, a w 2002 r. Krzyżem Kawalerskim Polonia Restituta. W 2014 r. została Honorowym Członkiem Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej za wkład w reprezentowanie PTFM na arenie międzynarodowej oraz zaangażowanie w zakresie kształcenia fizyków medycznych. Na emeryturę przeszła w 2009 r., ale dalej była aktywna zawodowo, pełniąc m.in. funkcję kierownika studium podyplomowego Higiena Radiacyjna.

Pozostanie w naszej pamięci jako Człowiek o niezwykle szerokiej wiedzy i ogromnym doświadczeniu, a przy tym skromny i koleżeński, pogodny i otwarty na świat i ludzi, mimo wieku ciągle czynny zawodowo, pełen energii i pasji działania. Bardzo będzie nam brakowało Pani Profesor.

*Koleżanki i Koledzy z Komisji Egzaminacyjnej Prezesa PAA
na stanowisko o specjalnościach istotnych dla bj i or.
informację opracował Maciej Jurkowski*



WSPOMNIENIE O PROFESORZE SŁAWOMIRZE SIEKIEFSKIM (1 SIERPNIA 1926 – 24 KWIETNIA 2019)



Fot. 1. Prof. dr Sławomir Siekierski

24 kwietnia 2019 r. zmarł wybitny polski uczyony, specjalista w dziedzinie chemii nieorganicznej i radiochemii, prof. dr Sławomir Siekierski, urodzony 1 sierpnia 1926 r. w Warszawie. Chlubną kartę w jego życiu stanowi okres II wojny światowej, zapisany działalnością konspiracyjną w szeregach AK i udziałem w Powstaniu Warszawskim, a po wyzwoleniu z obozu jenieckiego – w II Korpusie gen. Andersa we Włoszech.

W roku 1950 Sławomir Siekierski ukończył wyższe studia chemiczne na Wydziale Matematyczno-Przyrodniczym Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie jeszcze w czasie studiów, jako jeden z najbliższych młodych współpracowników słynnego prof. Wiktora Kemuli, rozpoczął pracę na stanowisku asystenta w katedrze Chemii

¹ European Federation of Organizations for Medical Physics

Nieorganicznej. Po obronie rozprawy doktorskiej w dziedzinie elektrochemii związków kompleksowych został zatrudniony (1956) w żerańskim oddziale nowopowstałego Instytutu Badań Jądrowych w Świerku. W latach 1960-1978 pełnił funkcję kierownika Zakładu Radiochemii IBJ. Wcześniej jeszcze odbył staż naukowy o tematyce radiochemicznej u prof. Ławruchiny w Moskwie i w Dubnej, po którym zajął się głównie radiochemicznymi metodami rozdzielania radionuklidów. Zasłynął w świecie naukowym jako twórca metody chromatografii ekstrakcyjnej. Ta znakomita metoda rozdzielania pierwiastków narodziła się w końcu lat 50. niezależnie i niemal jednocześnie w kilku laboratoriach europejskich i natychmiast rozpowszechniła się na całym świecie. Jej zastosowanie do rozdzielania lantanowców pozwoliło Siekierskiemu i współpracownikom zaobserwować i zbadać nieznane wcześniej niewielkie regularne zaburzenia monotoniczności w wartościach współczynników rozdzielania sąsiadujących ze sobą jonów szeregu lantanowców, które zostały później nazwane efektem podwójnie-podwójnym (lub tetradowym). Odkrycie to pozwoliło zrozumieć, dlaczego niektóre pierwiastki *f*-elektronowe są do siebie tak bardzo podobne, i wskazało, jak można je zróżnicować, a to z kolei umożliwiło opracowywanie nowych, doskonalszych procedur rozdzielczych.

Chemia pierwiastków *f*-elektronowych – lantanowców i aktynowców – i problemy związane z ich rozdzielaniem, zwłaszcza metodą ekstrakcji ciecz-ciecz, były największą pasją naukową prof. Siekierskiego. Badając charakter wiązań metal-ligand i wpływ stopnia jego kowalencyjności na własności związków pierwiastków *f*-elektronowych wyjaśnił on przyczynę tzw. wędrówki, czyli zmienności położenia jonów itru i aktynowców w szeregu lantanowców w różnych układach ekstrakcyjnych. Wykorzystując osiągnięcia chemii koordynacyjnej oraz badań nad oddziaływaniami międzycząsteczkowymi w roztworach Prof. sformułował fizykochemiczne podstawy procesów ekstrakcyjnych i opracował oryginalny model ekstrakcji jonów metali, w którym decydującą rolę w procesie podziału utworzonych kompleksów metali odgrywają zmiany struktury ciekłej wody wokół hydrofobowych fragmentów cząsteczki kompleksu. Wyniki tych prac umożliwiły zrozumienie roli rozpuszczalnika i właściwości cząsteczki ekstrahenta w procesach rozdzielania jonów metali, co zostało wykorzystane m.in. w procesie prowadzonym w skali półtechnicznej.

W latach 90. prof. Sławomir Siekierski rozpoczął badania przyczyn podobieństw i zmienności właściwości chemicznych pierwiastków w układzie okresowym, interpretując je z punktu widzenia struktury elektronowej jonów i promieni jonowych. Prace Profesora i jego współpracowników dotyczyły m.in. wpływu efektów relatywistycznych, które powodowały znaczne zmiany struktur elektronowych pierwiastków najcięższych, na właściwości tych pierwiastków. Ich wyniki umożliwiły przewidywanie właściwości chemicznych niektórych pierwiastków na egzotycznych, nietrwałych stopniach utlenienia i właściwości nowych radiopierwiastków superciężkich o bardzo krótkich okresach połowicznego zaniku. Ta nowatorska interpretacja właściwości pierwiastków chemicznych i periodyczności w układzie okresowym zaowocowała m.in. dwiema monografiemi: „Chemia pierwiastków”, Warszawa, 1998; i jej rozszerzoną (we współpracy z J. Burgessem) wersją angielską „Concise Chemistry of the Elements”, Ellis Horwood, 2002.

Profesor Siekierski pełnił szereg ważnych funkcji w polskim naukowym środowisku chemicznym, prowa-

dził wykłady z chemii nieorganicznej dla doktorantów Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, Wydziału Chemii UW oraz dla studentów i doktorantów Szkoły Nauk Ścisłych – wówczas niepaństwowej wyższej uczelni w Warszawie. Wypromował 18 doktorów nauk chemicznych, głównie ówczesnych pracowników Zakładu Radiochemii IBJ/ICHJT, lecz także kilku pracowników wyższych uczelni warszawskich i doktorantów IBJ/ICHJT z zagranicy. Został odznaczony licznymi medalami i orderami, w tym Krzyżem Oficerskim Orderu Odrodzenia Polski.

Wychowankowie i współpracownicy prof. Sławomira Siekierskiego z nostalgią wspominają częste z Nim dyskusje na liczne tematy chemiczne, nawet odległe od kierunków Jego głównych zainteresowań, oraz dyskusje na różnorodne tematy filozoficzne. Jesteśmy wdzięczni Profesorowi także za to, że nauczył nas dostrzegać i rozwiązywać zagadki tkwiące w zjawiskach pozornie prostych, że nauczył nas stawiać pytanie ‘dlaczego?’.

Cześć Jego pamięci!

Jerzy Ostyk-Narbutt,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POŻEGNALIŚMY
PANIĄ ZOFIĘ SIKORĘ
(4 KWIETNIA 2019 R.)



Fot. 1. Pani Zofia Sikora



Fot. 2. Pani Zofia Sikora na jednym ze Zjazdów PTN

Z przykrością informujemy o śmierci Pani Zofii Sikory, która przez wiele lat pełniła funkcję Skarbnika Polskiego Towarzystwa Nukleonowego (PTN). Dzięki jej profesjonalizmowi udało się towarzystwu przeżyć liczne zmiany w prawie dotyczącym finansowania organizacji pozarządowych. Zawodowo pracowała praktycznie całe życie w dziale finansowym Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. W ostatnich latach pełniła funkcję zastępcy Głównego Księgowego. Zaangażowana była również w działalność Związku Zawodowego Solidarność ICHJT. W Pani Zosi pożegnaliśmy nieocenioną członkinię PTN, która na stałe zapisała się w historię towarzystwa a prywatnie bardzo sympatyczną i lubianą Koleżankę. Rodzinie tą drogą składamy wyrazy szczerzego żalu i współczucia.

Redakcja Postępów Techniki Jądrowej

Otwarcie Alei im. A. Hryniewiczza w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych

Dubna, 20-26 marca 2018 r.



Od lewej stoją: Michail Katiukov – Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego Rosyjskiej Federacji, prof. Victor Matveev – dyrektor ZIBJ, dr Latchesar Kostov – Pełnomocny Przedstawiciel Bułgarii, prof. Michail Itkis v-ce dyrektor ZIBJ, prof. Michael Waligórski i prof. Mieczysław Budzyński



Przedstawiciel delegacji polskiej prof. Michael Waligórski w trakcie odsłonięcia tablicy



Przed tablicą z nazwą Alei A. Hryniewiczza. Od prawej: prof. J. Oganessian, prof. M. Waligórski i prof. M. Budzyński



W uroczystości wzięli udział dyrektorzy ZIBJ, Pełnomocni Przedstawiciele Krajów Członkowskich ZIBJ, polscy pracownicy, pracownicy ZIBJ oraz nasza delegacja



Premier RP Mateusz Morawiecki podczas uroczystości ogłoszenia zwycięzców prestiżowego konkursu Teaming for Excellence w siedzibie Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku

Otwock-Świerk, 23 kwietnia 2019 r.



Premier Mateusz Morawiecki i dyrektor NCBJ prof. Krzysztof Kurek w sterowni reaktora MARIA



Premier Mateusz Morawiecki, wicepremier - minister nauki Jarosław Gowin i prof. Krzysztof Kurek w sterowni reaktora MARIA



Premier Mateusz Morawiecki, - minister nauki Jarosław Gowin i prof. Krzysztof Kurek w budynku reaktora MARIA



Premier Mateusz Morawiecki i dyrektor NCBJ w czasie przejścia w budynku reaktora MARIA



Wystąpienie premiera Matusza Morawieckiego w czasie konferencji prasowej ogłoszenia zwycięzców konkursu Teaming for Excellence w NCBJ



Przy wejściu do budynku reaktora MARIA wita wszystkich popiersie naszej Noblistki Marii Skłodowskiej-Curie (rozmawiają od lewej Jacek Sasin, Krzysztof Kurek i Jarosław Gowin)