

# POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 65 Z. 3 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2022



**NOMINACJA IChTJ NA IAEA  
COLLABORATING CENTRE  
PRZEDŁUŻONA DO 2024**

(czytaj na str. 28)

**3-2022**

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ  
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

## SPIS TREŚCI NR 2/2022

AKTUALNE KIERUNKI ROZWOJU TECHNOLOGII RADIACYJNYCH – PODSUMOWANIE KONFERENCJI ICARST 2022	
Marta Walo, Urszula Gryczka, Magdalena Rzepna, Dagmara Chmielewska-Śmietanko.....	2
DOZYMETRIA LUMINESCENCYJNA: PRZEGLĄD METOD, DETEKTORÓW I ICH ZASTOSOWAŃ	
Małgorzata Nowina Konopka, Paweł Bilski, Barbara Obryk, Barbara Marczevska, Paweł Olko, Mariusz Kłosowski i Wojciech Gieszczyk .....	8
JAKIE REAKTORY DLA KANADY: CANDU, SMR?	
Dariusz Witold Kulczyński.....	17
DONIESIENIA Z KRAJU .....	22
DONIESIENIA ZE ŚWIATA .....	25
WYDARZENIA .....	28
INFORMACJE O KSIĄŻKACH	
JAK POWSTAŁA BOMBA ATOMOWA	
Krzysztof Rzymkowski .....	41
FELIETON	
JAK WALCZYĆ SKUTECZNIE?	
Wiktor Niedzicki .....	43
TAKSONOMIA REDIVIVUS – SPRAWDZAM!	
Marek Bielski.....	44
IN MEMORIAM	
ZMARŁ DR EDWARD RURARZ (13.10.1931 – 05.03.2022) – WSPOMNIENIE .....	46
EDWARD RURARZ (1931-2022) .....	46



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  
Marek Rabiński  
Łukasz Sawicki  
Elżbieta Zalewska

Współpracują z nami:  
Marek Bielski  
Andrzej Mikulski  
Małgorzata Nowina-Konopka  
Małgorzata Sobieszczak-Marciniak

Redakcja:  
PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

Adres strony internetowej PTJ:  
<http://ptj.waw.pl>

Opracowanie graficzne:  
Daniel Jaskóła (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 odrzucone.

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 52 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. Chocimska 4, 87-800 Włocławek

## Szanowni Państwo

Mineło już ponad 7 miesięcy od rozpoczęcia agresji Federacji Rosyjskiej na Ukrainę. Zagrożone zostały między innymi ukraińskie obiekty jądrowe.

Na Światowym Sympozjum Jądrowym w Londynie (8-9 września br.) dyrektor generalny MAEA Rafael Mariano Grossi wypowiedział ważne słowa o wyzwaniach związanych z energetyką jądrową.

„Jesteśmy w decydującym momencie dla energii jądrowej. Co ważniejsze, świat znajduje się w kluczowym momencie przejścia do bardziej zrównoważonej, bezpiecznej i stabilnej przyszłości energetycznej [...]”.

Będziemy musieli stawić czoła kilku wyzwaniom. Zaczę od najpilniejszego, groźby awarii w elektrowni jądrowej na Ukrainie w Zaporoziu. Zaledwie kilka dni temu kierowałem zespołem ekspertów MAEA w zakresie bezpieczeństwa, ochrony i zabezpieczeń dla tego miejsca. Zwiedziliśmy kluczowe obszary i ustanowiliśmy tam stałą obecność MAEA [...]”.

Chociaż w Zaporoziu robimy wszystko, co w naszej mocy, nalegam, aby wasze uzasadnione obawy dotyczące sytuacji na Ukrainie nie odciągnęły was od ważnej roli, jaką jest zapewnienie spełnienia obietnicy rozwijania energii jądrowej, ponieważ ludzie na was liczą. Sondaż opinii publicznej, od Azji Wschodniej po Europę Środkową, w krajach posiadających programy energetyki jądrowej i bez takich programów, pokazuje, że coraz więcej zwykłych ludzi pokłada zaufanie w energetyce jądrowej”.

Obecna również na Sympozjum dyrektor generalna Światowego Stowarzyszenia Jądrowego Sama Bilbao y Leon dodała:

„Świat ponownie przygląda się energetyce jądrowej [...]”.

Widzimy, jak kraje odwracają swoje plany trwałego wyłączenia reaktorów jądrowych. Widzimy plany przedłużenia żywotności istniejącej floty tak długo, jak to możliwe. Widzimy, jak istniejące kraje nuklearne i nowicjusze uważają energię jądrową za kluczową część swojego koszyka energetycznego [...]”.

Wspaniałą wiadomością jest to, że energia jądrowa jest jedną z niewielu technologii, które mogą jednocześnie wytwarzać niskoemisyjną energię elektryczną i ciepło, 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, przy każdej pogodzie i o każdej porze roku, co może zmienić zasady dekarbonizacji całej gospodarki w tym inne trudne do złagodzenia sektory poza energią elektryczną, takie jak procesy przemysłowe, ogrzewanie i chłodzenie budynków, transport morski, wytwarzanie wodoru lub produkcja świeżej wody”.

Pełne teksty przemówień pana Grossi i pani Bilbao y Leon znajdują Czytelnicy wewnątrz numeru („Punkt widzenia”).

Energetyka jądrowa to tylko jedna część technologii jądrowej. W bieżącym numerze PTJ omawiamy ważne wydarzenie, jakim była Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST), która odbyła się w dniach 22-26 sierpnia 2022 r. w Wiedniu. Konferencja organizowana, jako jedna z pierwszych po pandemii w formie hybrydowej cieszyła się ogromnym zainteresowaniem. Naukowcy z całego świata prezentowali najnowsze osiągnięcia z zakresu wykorzystania akceleratorów, źródeł promieniowania gamma, radioizotopów i promieniowania rentgenowskiego w badaniach i zastosowaniach przemysłowych. W artykule publikowanym, jako pierwszy tekst niniejszego numeru przedstawiono aktualne kierunki rozwoju technologii radiacyjnych na podstawie doniesień prezentowanych podczas konferencji ICARST. Autorkami artykułu są Marta Walo, Urszula Gryczka, Magdalena Rzepna i Dagmara Chmielewska-Śmietanko.

Pracownicy Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, który jest jednym z 9 centrów współpracujących z MAEA w zakresie technologii radiacyjnych (RAPID Collaborating Centre for Radiation Technology and Industrial Dosimetry), wprowadzonym też na Polską Mapę Infrastruktury badawczej, wygłosili 6 referatów i przedstawili 7 posterów.

Warto dodać, że podczas konferencji Dyrektorowi IChTJ została wręczona tablica z tekstem nominacji IChTJ na IAEA Collaborating Centre (vide okładka i tekst wewnątrz numeru).

Na wystawie towarzyszącej konferencji instytut prezentował swoje własne stoisko. Wystawa IChTJ cieszyła się dużym powodzeniem wśród uczestników konferencji. Prezentujący ekspozycje wystawy Krzysztof Dąbrowski w interesujący oraz przystępny sposób opowiadał o działalności IChTJ, o tematyce badawczej oraz ofercie komercyjnej skierowanej zarówno do firm, jak i instytutów, oraz uczelni.

Kolejny artykuł dotyczy ciekawego tematu termoluminescencji. Termoluminescencja to proces kwantowy polegający na emisji promieniowania elektromagnetycznego przez określone materiały, zwane materiałami termoluminescencyjnymi (TL). Jest on wywołany akumulacją energii promieniowania jonizującego i jej uwolnieniem, w postaci kwantów światła, przez ogrzewanie. TL jest jednym z przykładów luminescencji materiału uzyskiwanej

pod wpływem bodźców zewnętrznych. Tytuł artykułu: „DOZYMETRIA LUMINESCENCYJNA: PRZEGLĄD METOD, DETEKTORÓW I ICH ZASTOSOWAN. Autorzy: Małgorzata Nowina Konopka, Paweł Biłski, Barbara Obryk, Barbara Marczevska, Paweł Olko, Mariusz Kłosowski i Wojciech Gieszczyk. W artykule omówiono i porównano trzy metody stymulowania luminescencji: termiczną (TSL), optyczną (OSL) i radiową (RPL). Przedstawiono i opisano szeroki zakres zastosowań detektorów TL w dozymetrii indywidualnej i środowiskowej z naciskiem na pomiary ultrawysokich dawek. Jako szczególnie ważne w dozymetrii klinicznej do radioterapii nowotworów oka, opracowano termoluminescencyjne detektory planarne 2D. Opisano udział zespołu z Instytutu Fizyki Jądrowej (IFJ) w kosmicznym eksperymencie MATROSHKA. Przedstawiono również nowe materiały TL i nowe metody pomiarowe.

Dariusz Witold Kulczyński przygotował artykuł pod tytułem: JAKIE REAKTORY DLA KANADY: CANDU, SMR? Autor przypomina, że przy spełnieniu pewnych warunków, energetyka jądrowa jest bezpieczniejsza od innych gałęzi przemysłu. Nadzieje związane z bezpieczeństwem i kosztem eksploatacji SMR-ów będą weryfikowane w kolejnych latach, gdy zostanie wybudowana flota małych, modularnych reaktorów. Muszą one następnie przetworzyć dostateczną ilość godzin w celu uzyskania rzetelnych danych statystycznych na temat ich niezawodności i bezpieczeństwa. W artykule zostały omówione również posunięcia rządów prowincji Ontario i rządu federalnego Kanady mające negatywny wpływ na rozwój kanadyjskiej energetyki. Na podstawie kanadyjskiego systemu jądrowego CANDU autor tłumaczy zasadę wielopoziomowego bezpieczeństwa jądrowego.

W dziale doniesień znajdują się ciekawe informacje, z których kilka poniżej wymieniono.

RAPORT Z DROGOWEJ ODZWIERCIEDLAJĄCY POSTĘPY POLSKO-AMERYKAŃSKIEJ WSPÓŁPRACY NUKLEARNEJ. W raporcie Stany Zjednoczone i Polska określiły szczegółową dwustronną mapę drogową budowy sześciu dużych reaktorów jądrowych z wykorzystaniem amerykańskiej technologii oraz ramy strategicznej współpracy w zakresie cywilnej energetyki jądrowej.

W dniach 20-21 września 2022 r. w Warszawie odbyło się POLSKO-KANADYJSKIE FORUM PRZEMYSŁU JĄDROWEGO. Organizatorami wydarzenia były: Departament Energii Jądrowej Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Ambasada Kanady w Polsce oraz Kanadyjska Izba Przemysłu Jądrowego OCNi (Organisto of Canadian Nuclear Industrie).

W dniach 22-24 września 2022 r. w Gliwicach odbył się XIX ZJAZD POLSKIEGO TOWARZYSTWA BADAŃ RADIACYJNYCH IM. MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE (PTBR). Zjazd połączony był z konferencją naukową, w której mogli wziąć udział wszyscy zainteresowani. Organizatorem Zjazdu i konferencji naukowej był Śląski Oddział PTBR.

W dziale doniesienia ze świata zamieszczamy wspomnianą już i omawianą wcześniej informację World Nuclear News: PUNKT WIDZENIA: BILBAO Y LEÓN I GROSSI O MOŻLIWOŚCIACH I WYZWANIACH ZWIĄZANYCH Z ENERGIĄ JĄDROWĄ.

Do wydarzeń zakwalifikowano tym razem kilkanaście pozycji. Oto tytuły niektórych z nich.

WYSTAWA NA KONFERENCJI INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF RADIATION SCIENCE AND TECHNOLOGY POD NAZWĄ ICARST-2022; POSIEDZENIE PROBLEMÓW ENERGETYKI PAN W ICHTJ; STANOWISKO KOMITETU PROBLEMÓW ENERGETYKI PAN W SPRAWIE ROZWOJU ENERGETYKI JĄDROWEJ W POLSCE; WYNIKI EWALUACJI DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ INSTYTUTÓW BADAWCZYCH W LATACH 2017-2021; 20-LECIE ISTNIENIA ZUOP; EURATOM HORIZON EUROPE PROJECT COORDINATED BY INCT APPROVED FOR FUNDING; NA ŚCIEŻCE DEKARBONIZACJI „COAL TO NUCLEAR”; INSTYTUT FIZYKI JĄDROWEJ PAN OTRZYMAŁ PONOWNIE KATEGORIĘ A+; KONFERENCJA INAUGURUJĄCA PROJEKT DESIRE; NOWY PRZEWODNICZĄCY RADY GŁÓWNEJ INSTYTUTÓW BADAWCZYCH.

O książce pisze Krzysztof Rzymkowski (tytuł książki „JAK POWSTAŁA BOMBA ATOMOWA”).

Marek Biłski – tym razem – napisał felieton pod tytułem: TAKSONOMIA REDIVIVUS – SPRAWDZAM!

Publikujemy również drugi felieton: JAK WALCZYĆ SKUTECZNIE? Autorem jest Wiktor Niedzicki, wybitny dziennikarz, fizyk i muzyk, popularyzator nauki.

Na ostatnich stronach czasopisma publikujemy wspomnienia o zmarłym niedawno naszym redakcyjnym Koledze i Przyjacielu Edwardzie Rurarzu.

Zapraszam do lektury wszystkich publikowanych tekstów!

Czytelnikom – i sobie – życzę złotej, polskiej, jesieni i – konsekwentnie, jak co kwartał – zakończenia wojny na Ukrainie.

Stanisław Latek,  
redaktor naczelny

# AKTUALNE KIERUNKI ROZWOJU TECHNOLOGII RADIACYJNYCH – PODSUMOWANIE KONFERENCJI ICARST 2022

## *Current development directions of radiation technologies – conference summary ICARST 2022*

Marta Walo, Urszula Gryczka, Magdalena Rzepna,  
Dagmara Chmielewska-Śmietanko

**Streszczenie:** Trwająca przez ponad dwa lata pandemia COVID-19 znacząco wpłynęła na współpracę środowiska naukowego, ograniczając kontakty wyłącznie do spotkań online, pomimo realizowania nieprzerwanie przez wiele centrów naukowych prac badawczych. Konferencja Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST), która odbyła się w dniach 22-26 sierpnia 2022 r. w Wiedniu, organizowana jako jedna z pierwszych po pandemii w formie hybrydowej cieszyła się ogromnym zainteresowaniem. Naukowcy z całego świata prezentowali najnowsze osiągnięcia z zakresu wykorzystania akceleratorów, źródeł promieniowania  $\gamma$ , radioizotopów i promieniowania rentgenowskiego w badaniach i zastosowaniach przemysłowych. W niniejszej pracy przedstawiono aktualne kierunki rozwoju technologii radiacyjnych na podstawie doniesień prezentowanych podczas konferencji ICARST.

**Abstract:** The COVID-19 pandemic, which lasted for over two years, significantly influenced the cooperation of the scientific community, limiting contacts only to online meetings, despite the fact that many research centers carry out research work continuously. The Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST), which took place on August 22-26, 2022 in Vienna, was one of the first after the pandemic in a hybrid form, which attracted great interest. Scientists from around the world presented the latest achievements in the use of accelerators,  $\gamma$  radiation sources, radiotracers and X-rays in research and industrial applications. This paper presents the current trends in the development of radiation technologies based on reports presented at the ICARST conference.

**Słowa kluczowe:** technologie radiacyjne, sterylizacja radiacyjna, szczepienie radiacyjne, napromieniowanie żywności, dozymetria, akceleratory elektronów, ochrona środowiska, konserwacja dzieł sztuki

**Keywords:** radiation technologies, radiation sterilization, radiation-induced grafting, food irradiation, dosimetry, electron accelerators, environmental protection, cultural heritage

Od początku XX wieku w świecie dokonuje się szybki postęp w dziedzinie wdrażania technik i technologii radiacyjnych, czego efektem jest wiele innowacji i osiągnięć w tym zakresie. Główne obszary zastosowań promieniowania jonizującego to obróbka radiacyjna materiałów polimerowych (kabli, rurek, pianek, folii, biomateriałów), sterylizacja wyrobów medycznych i przeszczepów tkankowych, higienizacja produktów spożywczych i rolnych, konserwacja i ochrona dzieł sztuki, a także ochrona środowiska (usuwanie związków  $\text{SO}_2$  i  $\text{NO}_x$  z gazów spalinowych, oczyszczanie wody i ścieków z zanieczyszczeń chemicznych i mikrobiologicznych) [1-5]. Przemysłowymi źródłami promieniowania jonizującego w większości przypadków są akceleratory nisko- i wysokoenergetycznych elektronów, ale także stacje napromieniowania gamma. Według aktualnych danych na świecie pracuje ponad 3 tysiące urządzeń akceleratorowych i około 200 stacji wyko-

rzystujących promieniowanie gamma o aktywności  $> 250$  mln Ci. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) posiadając 5 akceleratorów elektronów jest wiodącym w świecie ośrodkiem badań i rozwoju technologii radiacyjnych. Część z nich jest również wykorzystywana w pilotowych instalacjach do sterylizacji radiacyjnej, utrwalania żywności i sieciowania polimerów [6]. Coraz powszechniejsze stosowanie technik radiacyjnych związane jest z konkurencyjnością tych metod w stosunku do tradycyjnych technik. Technologie wykorzystujące promieniowanie jonizujące łatwo i skutecznie pozwalają zmieniać lub nadawać nowe, specyficzne właściwości materiałom dzięki zastosowaniu radiacyjnej metody sieciowania, degradacji czy szczepienia różnych typów monomerów na powierzchni polimerów. Są to technologie również bardzo przyjazne dla środowiska naturalnego.

W dniach 22-26 sierpnia 2022 r. w Wiedniu odbyła się międzynarodowa konferencja Second International Conference on Applications of Radiation Science and Technology (ICARST), organizowana przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) i poświęcona następującym zagadnieniom:

- Zaawansowana chemia radiacyjna oraz trendy w nauce i technologii radiacyjnej,
- Nowe role nauk i technologii radiacyjnych w monitoringu i ochronie środowiska,
- Dozymetria, standardy i systemy zarządzania jakością w obiektach wykorzystujących promieniowanie jonizujące,
- Zaawansowane materiały: od podstaw do zastosowań,
- Nowa generacja źródeł promieniowania: promieniowanie gamma, wiązki elektronów i promieniowanie rentgenowskie,
- Alternatywne źródła promieniowania oparte na technologiach akceleratorowych,
- Sterylizacja radiacyjna,
- Technologie radiacyjne i jądrowe do charakteryzowania, obrazowania i ochrony dziedzictwa kulturowego.

Choć wiadomo jest, że wiele innowacji i osiągnięć w dziedzinie technologii radiacyjnych zostało już docenionych i wdrożonych, to konferencja ICARST, która zgromadziła ponad 600 uczestników, stworzyła świetne forum, na którym można było kompleksowo przyrzec się statusowi tych dokonań z perspektywy środowiska akademickiego i przemysłu, a także ich zdolności do współpracy oraz sprostania przyszłym wyzwaniom.

Naukowcy z całego świata pracują nad (1) możliwością wykorzystywania promieniowania jonizującego do projektowania i wytwarzania zaawansowanych materiałów z wykorzystaniem „zielonych” procesów przemysłowych w celu zapewnienia czystszej środowiska; (2) wnikliwym zrozumieniem chemicznych skutków napromieniowania w specjalnych warunkach (co jest ważne dla materiałoznawstwa w dziedzinie energetyki jądrowej, dla badań stabilności i kompatybilności napromieniowanych produktów w ludzkim ciele oraz dla innych zastosowań); a także (3) badaniem nowatorskich podejść do rozwiązywania skomplikowanych zagadnień oddziaływania promieniowania z materią. Z drugiej strony, technolodzy zajmujący się promieniowaniem stoją przed innymi wyzwaniami, takimi jak (1) zapewnienie bezpiecznej i niezawodnej pracy urządzeń do napromieniowania, (2) wdrożenie wymaganych międzynarodowych standardów kontroli procesu, (3) zapewnienie ciągłości dostaw i transportu między kontynentami źródeł zawierających kobalt-60 oraz (4) rozwój nowej generacji akceleratorów elektronów o dużej mocy i źródeł promieniowania rentgenowskie-

go do nowych zastosowań. Nie mniej istotne wydają się kwestie związane z innowacyjnymi akceleratorami o niskiej energii wiązki elektronów do zastosowań in-line, narzucając tym samym wciąż duże wyzwanie dozymetrytom i mikrobiologom w celu wypracowania lepszych metodologii pomiaru dawki pochłoniętej czy też zanieczyszczenia mikrobiologicznego.

Oprócz zastosowań związanych z obróbką radiacyjną istnieją inne technologie związane z promieniowaniem, takie jak wykorzystanie radioznaczników w celu poprawy i optymalizacji wydajności technik przemysłowych, badania procesów środowiskowych oraz kontroli jakości produktów. Celem nadrzędnym konferencji było zapewnienie jednostkom naukowym oraz przedstawicielom przemysłu z państw członkowskich MAEA, możliwości wymiany doświadczeń z zakresu chemii i technologii radiacyjnych do osiągnięcia zamierzonych celów, mając na uwadze priorytetowe kierunki badań każdego kraju.

Poniżej postaramy się przytoczyć kilka przykładów, obrazujących aktualne kierunki i trendy rozwoju technologii radiacyjnych na świecie. I tak nawiązując do radiacyjnej modyfikacji materiałów polimerowych, istotne wydaje się przedstawienie osiągnięć uzyskanych przy wykorzystaniu techniki szczepienia radiacyjnego, która dzięki szerokiej gamie dostępnych winylowych monomerów daje nieograniczone możliwości zastosowania tej techniki w przemyśle i medycynie [7]. Idea szczepienia radiacyjnego polega na tym, że za pomocą promieniowania jonizującego inicjowane są w polimerze centra aktywne, które mogą służyć do tworzenia wiązań z cząsteczkami/monomerami zmieniającymi właściwości powierzchni tego polimeru, tj. hydrofobowość/hydrofilowość, polarność/apolarność, wzrost adhezji itp. Szczepienie odpowiednio dobranych grup funkcyjnych może prowadzić do wzrostu powinowactwa w stosunku do niektórych substancji. Szczególnie intensywnie prowadzone są badania wykorzystywania zarówno wiązki wysokoenergetycznych elektronów, jak i promieniowania gamma do produkcji membran ogniwo polimerowych, wytwarzania nowych, selektywnych adsorbentów czy projektowania polimerów do zastosowań medycznych i biotechnologicznych [7]. Zdecydowanie w tej grupie najbardziej zaawansowane prace prowadzone są w zakresie optymalizacji parametrów szczepienia w celu uzyskania jak najbardziej wydajnych membran ogniwo paliwowych w odniesieniu do stosowanych obecnie membran komercyjnych, takich jak: Nafion (firmy DuPont), Aciplex (firmy Asahi Kasei) czy Permion® (firmy RAI Co.). Istotne osiągnięcia w tym zakresie ma grupa prof. Mohamada Nasefa (Universiti Teknologi Malaysia), świetnego specjalisty, posiadającego bogate doświadczenie zarówno w wykorzystywaniu techniki szczepienia radiacyjnego pod

kątem różnych zastosowań, jak i w technologii membran. W swojej pracy, w badaniach mających na celu uzyskanie radiacyjnie szczepionych membran przebadano kilka rodzajów materiałów funkcjonalnych, w tym kompozytową membranę przewodzącą protony do ogniwa paliwowego. Membrana została przygotowana przez szczepienie wiązką wysokoenergetycznych elektronów mieszaniny monomerów: 4-winylopirydyny (4-VP) i 1-winyloimidazolu (1-VIm) na folii poli(etyleno-ko-tetrafluoroetylenowej) (ETFE) w zoptymalizowanych warunkach, uzyskując filmy zdolne następnie do przyłączenia kwasu fosforowego (PA). Dla tak otrzymanej membrany szczepionej zbadano właściwości fizykochemiczne, a także oceniono właściwości elektrochemiczne membrany. Potwierdzono, że mieszanina monomerów pozwala na uzyskanie znacznie lepszych właściwości od odpowiednika otrzymanego przez szczepienie pojedynczego monomeru (4-VP). Działanie membrany sprawdzono w ogniwie paliwowym  $H_2/O_2$  w temperaturze 120 °C w warunkach suchych i częściowo wilgotnych, potwierdzając, że przyjęte procedury są skuteczne we wprowadzaniu optymalnego stopnia szczepienia odpowiedniego do nadania pożądanych właściwości i poprawy wydajności membrany w ogniwie paliwowym.

Inna grupa badawcza z laboratorium prof. Olguna Guvena w Turcji również opracowała metodę syntezy membrany ogniwa paliwowego za pomocą szczepienia polistyrenu na ETFE w obecności czynnika sieciującego – diwinylobenzenu (DVB) z wykorzystaniem nowatorskiej metody RAFT. W tym przypadku wyniki uzyskanych badań potwierdziły, że odporność chemiczna membran zsyntetyzowanych w obecności DVB wzrosła około 4-krotnie w porównaniu z membranami zsyntetyzowanymi bez DVB i chociaż nastąpił spadek przewodności protonowej w wyniku zastosowania DVB, to w wyniku reakcji sieciowania pojawił się znaczny wzrost stabilności chemicznej. Membrany o stopniu szczepienia 45% i 67% wykazywały wyższą przewodność protonową niż wiele membran opisanych w literaturze oraz w porównaniu do komercyjnej próbki Nafionu.

Ponadto zaprezentowane w trakcie konferencji prace badawcze wyznaczające nowe trendy w dziedzinie modyfikacji zaawansowanych materiałów dotyczyły szczepionych radiacyjnie katalizatorów do produkcji biodiesla, membran pełniących funkcję adsorbentów dla  $CO_2$  i innych gazów.

Nieodłącznym etapem podczas napromieniowania jest kontrola dawki pochłoniętej przez materiał poddany temu działaniu, dlatego też dozymetria spełnia niezwykle ważną funkcję w obróbce radiacyjnej. Choć wiele systemów dozymetrycznych pokrywa zakres dawek 10 Gy – kilkaset kGy to wciąż są problemy z pomiarami dawki pochłoniętej np. niskoenergetycz-

nego promieniowania X czy elektronowego (do 300 keV). Ciekawe doniesienia na ten temat przedstawili naukowcy francuscy, którzy eksperymentalnie oraz przy pomocy symulacji Monte Carlo, potwierdzili, że pomiar dawki pochłoniętej w odniesieniu do wody za pomocą dozymetrów alaninowych napromieniowanych promieniami rentgenowskimi o energii poniżej 100 keV, przy użyciu systemu dozymetrycznego EPR-alaninowego kalibrowanego w źródle kobaltowym  $^{60}Co$ , wymaga zastosowania współczynników korygujących. Trzy badane przez nich metody pomiaru dawki pozwoliły na wyznaczanie względnej odpowiedzi alaniny na niskoenergetyczne promieniowanie rentgenowskie, zapewniły dobrą zgodność wyników, z tym że zależność energetyczna wydajności tworzenia wolnych rodników (wartość G [rodniki]/100eV) w alaninie musi być zbadana, aby można ją uwzględnić zarówno w symulacjach, jak i obliczeniach.

Napromieniowanie żywności jest jednym z pierwszych obszarów, w których technologie radiacyjne zostały wdrożone w skali komercyjnej. Promieniowanie jonizujące w postaci promieniowania gamma emitowanego przez izotop  $^{60}Co$  lub  $^{137}Cs$ , wiązki wysokoenergetycznych elektronów o energii do 10 MeV oraz promieniowania hamowania emitowanego z urządzeń pracujących na poziomie energii do 5 MeV [8] stosuje się w celu podniesienia bezpieczeństwa żywności, a także ograniczenia strat zachodzących w wyniku jej psucia.

Przedstawione w trakcie konferencji ICARST prezentacje dotyczące napromieniowania żywności obejmowały zarówno nowe rozwiązania techniczne, jak i nowe obszary zastosowań. Zauważyć można wzrost zainteresowania wykorzystaniem niezotopowych źródeł promieniowania. W prezentacji firmy MEVEX zaprezentowano systemy do napromieniowania za pomocą wiązki elektronów, jak i promieniowania X, którego wykorzystanie zostało określone jako najszybciej rozwijająca się technologia. W obszarze napromieniowania żywności promieniowanie X znajduje zastosowanie do zabiegów fitosanitarnych świeżych owoców. Pierwsza stacja radiacyjna wyposażona w źródło promieniowania X, dedykowana napromieniowaniu świeżych owoców, powstała na Hawajach w 2000 r. [9]. Obecnie na świecie jest to najszybciej rozwijający się obszar wykorzystania technologii napromieniowania żywności, głównie w Stanach Zjednoczonych oraz w krajach południowo-wschodniej Azji i w Australii. Ze względu, z jednej strony, na niewielkie dawki stosowane w tym procesie (<1 kGy) a z drugiej na zasięg promieniowania konieczny do obróbki świeżych produktów żywnościowych, coraz powszechniejsze staje się wykorzystanie promieniowania X. Dotyczy to również kontroli procesu, co przedstawiła D. Werner w prezentacji firmy Aerial

dotyczącej określenia rozkładu dawki wewnątrz palety świeżych owoców mango, wykonanego za pomocą dozymetrii alaninowej oraz symulacji komputerowej.

Mikrobiologiczna dekontaminacja żywności jest nadal ważnym obszarem wykorzystania technik radiacyjnych. Ma to szczególne znaczenie w krajach o wysokim zaludnieniu jak Indie, co zaprezentował w trakcie konferencji ICARST Anil Kohil. Jak przedstawiono, ograniczenie strat żywności dotyczy takich produktów jak ziarna zbóż, suszone warzywa, zioła i przyprawy. Pradip Mukherjee z Board of Radiation and Isotope Technology, Indie zaprezentował mobilne urządzenie do napromieniowania żywności, w którym źródłem promieniowania jest izotop kobaltu  $^{60}\text{Co}$ .

Ponadto zaprezentowane w trakcie konferencji prace badawcze wyznaczające nowe trendy w dziedzinie napromieniowania żywności dotyczyły wytwarzania opakowań, w tym opakowań jadalnych (Nelida L. del Mastro), eliminacji wirusów (M. Lacroix) czy też wykorzystania odpadów z produkcji spożywczej (J. Madureira).

Podczas konferencji ICARST 2022 nie mogło również zabraknąć sesji dotyczącej sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych. Przedstawiciel firmy Mediscan GmbH & Co KG w swoim wystąpieniu pt. „Przyszłość sterylizacji radiacyjnej – perspektywy i wyzwania z punktu widzenia dostawcy usługi” przedstawił szczegółowo wady i zalety stosowania promieniowania gamma, wiązki wysokoenergetycznych elektronów oraz promieniowania X w procesie sterylizacji różnych rodzajów wyrobów medycznych. Podkreślił również, iż zmiana rodzaju stosowanego źródła promieniowania jonizującego wymaga udokumentowanej oceny potwierdzającej, że różnice w warunkach napromieniowania nie wpływają na ważność ustalonej dawki sterylizacyjnej. Niemniej jednak większa szybkość dawkowania, może zmniejszyć niepożądane efekty indukowane podczas napromieniowania. Potwierdzeniem tego wniosku są wyniki badań zaprezentowane przez Panią dr Akhavan Aghghaleh. Badania prowadzone w Instytucie Nauki i Techniki Jądrowej w Iranie dotyczyły porównania wpływu wiązki wysokoenergetycznych elektronów oraz promieniowania gamma na właściwości fizykochemiczne poliwęglanowych filtrów stosowanych w terapii nerkozastępczej (filtr dializacyjny). Poliwęglan dzięki takim właściwościom jak przejrzystość, wysoka wytrzymałość, odporność na uderzenia, dobra odporność na ciepło oraz biokompatybilność jest bardzo często stosowany do produkcji wyrobów medycznych. Oddziaływanie promieniowania jonizującego na poliwęglan skutkuje rozrywaniem łańcuchów oraz powstaniem rodników absorbujących w zakresie światła widzialnego. Napromieniowane próbki poliwęglanu

wykazują widoczną zmianę koloru, od przezroczystego do żółtego, a intensywność koloru rośnie wraz ze wzrostem dawki pochłoniętej. W przypadku próbek napromieniowanych przy użyciu akceleratora elektronów wzrost intensywności koloru wraz ze wzrostem dawki był niższy. W związku z tym do sterylizacji wyrobów medycznych wykonanych z poliwęglanu rekomenduje się stosowanie źródeł o większej szybkości dawkowania.

Pandemia Covid-19 spowodowała wzrost zainteresowania zastosowania sterylizacji radiacyjnej do wyrobów medycznych, które do tej pory były sterylizowane innymi metodami. Jednym z ważnych czynników branych pod uwagę podczas tego wyboru jest czas sterylizacji, który w przypadku sterylizacji radiacyjnej jest bardzo krótki. Badaniu poddano medyczne fartuchy ochronne wykonane w najbardziej popularnych polimerów tj. polipropylen (PP), polietylen (PE) oraz poli(tereftalan etylenu) (PET). Wykazano, że napromieniowanie dawkami do 50 kGy ma niewielki wpływ na odporność materiału na przenikanie cieczy (wody i substancji krwiopodobnych) oraz skuteczność filtrowania. Ubrania ochronne wykonane z PET i PE spełniały kluczowe parametry nawet po napromieniowaniu dawką dwukrotnie wyższą niż standardowa dawka sterylizacyjna. Fartuchy ochronne wykonane z PP mogą być warunkowo poddane procesowi sterylizacji radiacyjnej, jeśli wartość dodana wynikająca ze zmniejszenia zanieczyszczenia mikrobiologicznego zrekompensuje pogorszenie niektórych właściwości użytkowych, lub gdy nie ma możliwości zastosowania innego czynnika sterylizującego.

Kolejną tematyką, której nie mogło zabraknąć na konferencji ICARST, jest wykorzystanie promieniowania jonizującego do dezynfekcji oraz konsolidacji radiacyjnej obiektów dziedzictwa kulturowego. W tych zastosowaniach zdecydowanie częściej wykorzystywane są źródła promieniowania  $\gamma$ . W przypadku obiektów o dużych wymiarach jak obrazy, rzeźby wykonane z drewna, zabytkowe łodzie wydobyte z dna zbiorników wodnych czy fragmenty drewnianych ołtarzy przenikliwość promieniowania  $\gamma$  jest dużą zaletą pozwalającą na skuteczną dezynfekcję całego obiektu. W wielu przypadkach procesy dezynfekcji lub konsolidacji radiacyjnej są tylko małym fragmentem całego procesu konserwacji niekiedy bardzo cennych dzieł sztuki, który wymaga współpracy wielu ekspertów z różnych dziedzin. Warto wspomnieć, że promieniowanie jonizujące jest wykorzystane do konserwacji zabytków już ponad 50 lat, więc jest to już dobrze poznana technologia. Również podczas konferencji przypomniano niektóre z tych sztandarowych zastosowań promieniowania jonizującego do ochrony zabytków. Dr Laurent Cortella z unikalnego na skalę światową francuskiego ośrodka

ARC-Nucleart, gdzie przeprowadza się kompleksowy proces konserwacji dzieł sztuki przy zastosowaniu promieniowania  $\gamma$ , w swojej prezentacji pokazał, jak istotną sprawą podczas procesu napromieniowania takich obiektów zabytkowych jak mumia faraona Ramzesa II jest dozymetria. Przy napromieniowaniu w źródle promieniowania  $\gamma$  dużych obiektów o skomplikowanych kształtach uzyskanie jednorodnej dawki stanowi spore wyzwanie, dlatego przed przystąpieniem do właściwego procesu konieczne było przeprowadzenie całej serii eksperymentów na modelowych obiektach i wykorzystanie modelowania komputerowego.

Prezentacje konferencyjne dotyczące tej tematyki pozwoliły się zorientować, że różnorodność obiektów zabytkowych, do których konserwacji było wykorzystane promieniowanie jonizujące jest ogromna. To nie tylko papier, drewno, skóra, obrazy, obiekty etnograficzne takie jak zabytkowe stroje czy przedmioty, ale również kolekcje botaniczne i zoologiczne np. wypchane zwierzęta. To tylko dowodzi faktu, że jest to technologia już dobrze zbadana i w niektórych krajach (Francja, Brazylia, Rumunia) stosowana na naprawdę szeroką skalę.

Tym razem niewiele czasu poświęcono konsolidacji radiacyjnej, jedynie prof. Dilek Solpan Ozbay z Hacettepe University w Ankarze stosowała akrylan butylu i metakrylan metylu do szczepienia na powierzchni papieru Whatman w celu jego konsolidacji i zwiększenia jego trwałości.

Wciąż niewiele miejsca poświęca się zastosowaniu wiązki elektronów i promieniowania rentgenowskiego do konserwacji zabytków. Pierwszą przyczyną jest na pewno mała dostępność tych źródeł promieniowania w wiodących ośrodkach zajmujących się powyższą tematyką. W przypadku wykorzystania wysokoenergetycznych elektronów mały zasięg energii w napromieniowanym materiale ogranicza pole wykorzystania tej technologii do małych obiektów, o niższej gęstości, ale za to znacznie szybszy niż w przypadku promieniowania  $\gamma$  proces napromieniowania pozwala znacznie ograniczyć efekt oksydacyjny, który w przypadku materiałów bazujących na celulozie może prowadzić do większej ich degradacji pod wpływem promieniowania. Zbadanie możliwości jakie oferuje zastosowanie wiązki elektronów i promieniowania rentgenowskiego do konserwacji zabytków wydaje się być nowym wy-

**Tabela 1.** Tytuły referatów i posterów prezentowanych przez naukowców IChTJ podczas konferencji ICARST.  
**Table 1.** Titles of papers and posters presented by INCT scientists at the ICARST conference.

Osoba prezentująca	Tytuł referatu
Andrzej G. Chmielewski	Radiation Technologies: Future is Today
Krystyna Cieśla	Modification of the Properties of the Films Formed in Starch: PVA System by Addition of Selected Agents Supported by Radiation Treatment
Tomasz Smoliński	Radiotracer Leak Detection Method Developed at INCT
Marcin Sudlitz	Application of Radiation Technology to Decomposition of Selected Organic Pollutants in Waters, Waste and Sludge
Yongxia Sun	Mechanism of Perfluorooctanoic Acid (PFOA) Degradation in Aqueous Solution Under Ionization Radiation
Dagmara Chmielewska-Śmietanko	The Legacy of Maria Skłodowska-Curie on the Role of Women in Nuclear Science – INCT as an Example
Autor posteru	Tytuł posteru
Urszula Gryczka	Process control requirements for electron beam irradiation of liquids in flowing systems
Hanna Lewandowska-Siwkiewicz	Thermogravimetric Analysis of the Changes in Radiation-Aged Polyethylene Unprotected or Protected by Antioxidants
Marcin Rogowski	Electron Accelerator Based Technology for Ballast Water Treatment at Floating Dock
Magdalena Rzepna	Impact of Electron Beam Treatment on Aliphatic Biodegradable Polyesters for Medical Application
Yongxia Sun	Computer Simulation of Chloroquine Degradation in Aqueous Solution Under Electron Beam Irradiation
Dagmara Chmielewska-Śmietanko	Application of Electron Beam Irradiation for Inactivation of Invasive Marine Species and Harmful Bacteria in Ballast Water
Marta Walo	Functionalization of Polymers Dedicated to Gas Separation Applications by Radiation-Induced Grafting



zwaniem i obszarem, w którym powinny być prowadzone nowe prace.

Innym ważnym obszarem zastosowania technologii radiacyjnych, jest ochrona środowiska. Dotyczy to zastosowania akceleratorów elektronów [10-11], szczególnie po opracowaniu nowych akceleratorów elektronów o dużej mocy, które mogą być wykorzystywane do obróbki on-line ogromnych strumieni ciekłych lub gazowych zawierających zanieczyszczenia chemiczne, fizyczne i mikrobiologiczne. Instalacje takie były budowane w Polsce, Arabii Saudyjskiej, a także w Chinach. Obecnie akceleratory o niskiej energii elektronów są wykorzystywane w Korei Płd. do oczyszczania gazów z odorów i lotnych zanieczyszczeń organicznych.

Ważne dla rozwoju i wdrożenia opisywanych powyżej technologii są prace związane z wprowadzaniem w konstrukcji akceleratorów nowych rozwiązań wykorzystujących struktury nadprzewodnikowe, prowadzące do zwiększenia efektywności energetycznej tych urządzeń. Pracownicy Instytutu, który jest jednym z 9 centrów współpracujących z MAEA w zakresie technologii radiacyjnych (RAPID Collaborating Centre for Radiation Technology and Industrial Dosimetry), wprowadzonym też na Polską Mapę Infrastruktury badawczej, wygłosili 6 referatów i przedstawili 7 posterów.



Fot. 1. Rozmowy w kuluarach (fot. Krzysztof Dąbrowski)

Konferencja ICARST jest unikalnym i bardzo cennym wydarzeniem dla naukowców zajmujących się szeroko pojętym wykorzystaniem akceleratorów, źródeł promieniowania  $\gamma$ , radioizotopów i promieniowania rentgenowskiego w badaniach i zastosowaniach przemysłowych. Ze względu na swoją szeroką tematykę daje możliwość pełnego przeglądu aktualnych trendów i prowadzonych prac w tej dziedzinie. Kolejna edycja konferencji odbędzie się w kwietniu 2025 r.

Marta Walo, Urszula Gryczka,  
Magdalena Rzepna,  
Dagmara Chmielewska-Śmietanko,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa

## Literatura:

- [1] Chmielewski, A. G. (2016). Future developments in radiation processing. In Y. Sun & A.G. Chmielewski (Eds.), *Applications of ionizing radiation in materials processing* (vol. 2, pp. 501-516). Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology. <http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/publ/monogr/sun2017/sun-vol1.pdf>
- [2] Przybytniak, G. (2016). Crosslinking of polymers in radiation processing. In Y. Sun & A.G. Chmielewski (Eds.), *Applications of ionizing radiation in materials processing* (vol. 2, pp. 249-267). Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology.
- [3] Walo, M., Gryczka, U., Chmielewska-Śmietanko, D., Chmielewski, A. G., Licki, J., Sun, Y., Pawelec, A., Zhao, L., Bułka, S., Zimek, Z., & Sudlitz, M. (2019). New developments based on the INCT facilities. In A. G. Chmielewski & Z. Zimek (Eds.), *Electron accelerators for research, industry and environment – the INCT perspective* (pp. 89-98). Warsaw: Institute of Electronic Systems, Warsaw University of Technology.
- [4] Makuuchi, K., & Cheng, S. (2012). Application of radiation crosslinking. In *Radiation processing of polymer materials and its industrial applications* (pp. 134-163). New Jersey: Wiley.
- [5] Drobny, J. G. (2010). *Radiation technology for polymers*. Boca Raton, London, New York: CRC Press Taylor and Francis Group.
- [6] *Electron Accelerators for Research, Industry and Environment – the INCT Perspective*
- [7] Chmielewski, Andrzej G.; Zimek, Zbigniew (Eds.) Warsaw University of Technology — Warsaw, 2019; <https://zenodo.org/record/3237554#.YyYMxaTP02x>
- [8] Güven, O. (2016). Established and emerging applications of radiation-induced graft polymerization. In Y. Sun & A.G. Chmielewski (Eds.), *Applications of ionizing radiation in materials processing* (vol. 2, pp. 355-373). Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology.
- [9] General standard for Irradiated Food. Codex Stan 106-1983, Rev. 1-2003
- [10] Rivka Barkai-Golan, Peter A. Follett. *Irradiation for Quality Improvement, microbial Safety and Phytosanitation of Fresh Products*. Academic Press, Elsevier, 2017
- [11] CHMIELEWSKI, A.G., HAN BUMSOO, *Electron Beam Technology for Environmental*
- [12] *Pollution Control*, Top Curr Chem. (Z) 374 (2016) 68 (30 pp.). <https://doi.org/10.1007/s41061-016-0069-4>
- [13] CHMIELEWSKI, A.G., HAN BUMSOO, SABHARWAL, S., SAMPA, M. H. *Environmental Protection: Reducing Environmental Pollution*, Editor: Ehud Greenspan, *Encyclopedia of Nuclear Energy*, Elsevier, 2021, 520-527, ISBN 9780128197325, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.12331-0>.

# DOZYMETRIA LUMINESCENCYJNA: PRZEGLĄD METOD, DETEKTORÓW I ICH ZASTOSOWAŃ

## *Luminescent dosimetry: review of methods, detectors and their applications*

Małgorzata Nowina Konopka, Paweł Bilski,  
Barbara Obryk, Barbara Marczevska, Paweł Olko,  
Mariusz Kłosowski i Wojciech Gieszczyk

**Streszczenie:** W artykule, po krótkim opisie rozwoju historycznego, przedstawiono teorię termoluminescencji (TL). Omówiono i porównano trzy metody stymulowania luminescencji termiczną (TSL), optyczną (OSL) i radiową (RPL). Przedstawiono i opisano szeroki zakres zastosowań detektorów TL w dozymetrii indywidualnej i środowiskowej z naciskiem na pomiary ultrawysokich dawek. Jako szczególnie ważne w dozymetrii klinicznej do radioterapii nowotworów oka, opracowano termoluminescencyjne detektory planarne 2D. Opisano udział zespołu z Instytutu Fizyki Jądrowej (IFJ) w kosmicznym eksperymencie MATROSHKA. Przedstawiono również nowe materiały TL i nowe metody pomiarowe.

**Abstract:** In the paper, after a brief description of historical development, the theory of thermoluminescence (TL) is presented. Three methods of thermally (TSL), optically (OSL) and radio (RPL) stimulated luminescence are discussed and compared. A wide range of applications of TL detectors in individual and environmental dosimetry with an attention put on ultra-high dose measurements is presented and described. As particularly important in clinical dosimetry for eye-tumor radiotherapy, the planar 2D detectors TL were developed. The participation of the Institute of Nuclear Physics (IFJ) group in the Cosmos MATROSHKA experiment is described. Also, the new TL materials and measurement methods are presented.

**Słowa kluczowe:** termoluminescencja, dozymetria, luminescencja, fluorek litu, luminescencja stymulowana radiowo, luminescencja stymulowana optycznie, luminescencja stymulowana termicznie

**Keywords:** Thermoluminescence, dosimetry, luminescence, lithium fluoride, radio stimulated luminescence, optically stimulated luminescence, thermally stimulated luminescence

### 1. WPROWADZANIE

#### Krótką historia

Termoluminescencja to proces kwantowy polegający na emisji promieniowania elektromagnetycznego przez określone materiały, zwane materiałami termoluminescencyjnymi (TL). Jest on wywołany akumulacją energii promieniowania jonizującego i jej uwolnieniem, w postaci kwantów światła, przez ogrzewanie. TL jest jednym z przykładów luminescencji materiału uzyskiwanej pod wpływem bodźców zewnętrznych.

Sam termin „luminescencja” został po raz pierwszy wprowadzony w 1888 r. przez Eilharda Wiedemanna [1], aby opisać emisję światła w procesach niezawierających ciepła, w przeciwieństwie do emisji światła przez materiały nagrzane do wysokiej temperatury. Ale faktycznie obserwacji termoluminescencji dokonano znacznie wcześniej.

Pierwszą obserwację termoluminescencji przypisuje się włoskiemu alchemikowi z Bolonii Vincenzo Casca-

riolo. W 1603 r. zauważył on emisję światła widzialnego z rozgrzanych bryłek baratu.

Robert Boyle (1627-1691) w 1668 r. opisał emisję światła z diamentu podgrzanego do temperatury ciała człowieka [2].

Alexander Stewart Herschel (1836-1907) odpowiednio w latach 1864 i 1873 zaobserwował jasnozielone światło emitowane z dwóch wewnętrznych części meteorów Geminidów [1].

W 1905 r. Maria Skłodowska-Curie (1867-1934) przebadła i opisała emisję termoluminescencyjną z naturalnego fluorku wapnia ( $\text{CaF}_2$ ) wystawionego na promieniowanie  $^{226}\text{Ra}$  [3]. Zaznaczyła, że naturalny fluorek wapnia świeci po podgrzaniu, a natężenie emitowanego światła zależy od czasu ekspozycji radem. Było to pierwsze zaobserwowane połączenie termoluminescencji z promieniowaniem jonizującym.

Ważny krok w kierunku zrozumienia termoluminescencji i jej praktycznych zastosowań w dozymetrii poczyniono dzięki modelowi zaproponowanemu przez

Johna Turtona Randalla (1905-1984) i Maurice'a Hugh Wilkinsa (1915-2004) w 1945 [4].

Instytut Fizyki Jądrowej (IFJ) był zaangażowany w badania termoluminescencji od lat 60-tych ubiegłego wieku przez Tadeusza Niewiadomskiego (1920-1996), który opracował detektory LiF: Mg,Ti (MTS-N) i uzyskał licencję Studsvik do ich produkcji [5]. W kolejnych latach zespół IFJ kierowany przez Niewiadomskiego opracował detektory cienkowarstwowe  $\text{CaSO}_4$ :Dy do pomiaru promieniowania radonowego, a także materiały o wysokiej czułości: LiF: Mg,Cu,P (tzw. MCP) oraz detektory cienkowarstwowe MCP. Rok 2005 był podwójnym sukcesem zespołu IFJ. Wyprodukowano wtedy detektory LiF: Mg, Ti (tzw. MTT) ważne z uwagi na ich zastosowanie w pomiarach promieniowania kosmicznego. W tym samym roku opracowano planarne detektory 2D do pomiarów klinicznych. W 2006 r. zaobserwowano i opisano wysokotemperaturową emisję światła przez detektory LiF: Mg,Cu,P. Dało to możliwość pomiaru dawek w zakresie od 1 kGy do 1 MGy, gdzie Gy oznacza jednostkę promieniowania pochłoniętego o nazwie grey. Ostatnio pierwsze monokryształy LiF zostały otrzymane w IFJ metodą wyciągania zwaną Micro Pulling Down.

Ze względu na wieloletnie badania i uzyskane osiągnięcia w niniejszej pracy dokonano przeglądu przede wszystkim badań prowadzonych w IFJ nad materiałami TL i ich zastosowaniem w dozymetrii.

## 2. TEORIA TERMOLUMINESCENCJI

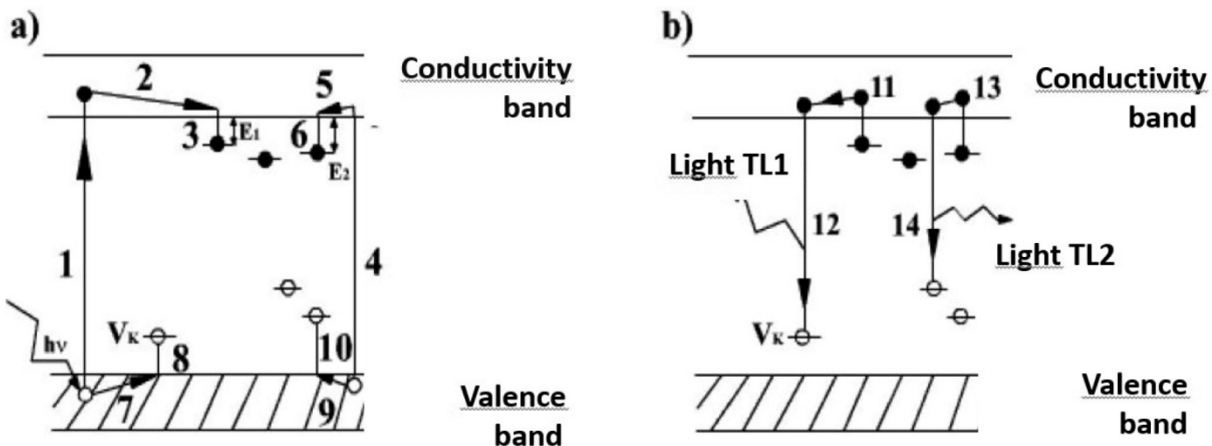
Model opisujący termoluminescencję oparty jest na kwantowej strukturze pasmowej ciał stałych [6]. Energię stanów elektronowych w kryształach można uważać za pochodną stanów występujących w poszczególnych atomach lub jonach tworzących kryształ. Wąskie poziomy energetyczne, które istnieją w jonach w wol-

nej przestrzeni, w sieci są poszerzone w pasma przez pole elektryczne wytwarzane przez otaczające jony. W idealnym kryształach wyróżniają się dwa pasma poziomów energetycznych (por. rys. 1):

- pasmo walencyjne (podstawowe) – przedział energii całkowicie wypełniony przez elektrony związane z jądrem atomowym,
- pasmo przewodnictwa – przedział energii elektronów walencyjnych, uwolnionych z atomu, które są swobodnymi nośnikami w ciele stałym; to pasmo jest puste, ale prawa mechaniki kwantowej pozwalają na jego wypełnienie.

Dolna granica pasma przewodnictwa znajduje się powyżej górnej granicy pasma walencyjnego. Różnica energii między tymi pasmami nazywana jest przerwą międzypasmową lub przerwą energetyczną. Umownie kryształy o szerokości przerwy energetycznej większej niż 3 eV zalicza się do dielektryków, a kryształy o szerokości przerwy energetycznej mniejszej niż 3 eV zalicza się do półprzewodników. Jeśli szerokość przerwy energetycznej jest równa zero lub pasmo walencyjne zachodzi na pasmo przewodnictwa, kryształ nazywany jest metalem.

Zjawisko termoluminescencji nie może wystąpić w idealnym kryształach dielektrycznym ze względu na dużą przerwę energetyczną. W rzeczywistości jednak struktura dielektryczna nigdy nie jest doskonała ze względu na obecność licznych defektów sieciowych. Defekty (zwane również pułapkami) wprowadzają dodatkowe poziomy energii do przerwy wzbronionej. Rodzaj i koncentrację defektów w kryształach można kontrolować poprzez domieszkowanie obcymi jonami. Wskutek defektów sieci krystalicznej w zakresie przerwy energetycznej powstają lokalne poziomy zwane pułapkami elektronowymi, jeśli są blisko pasma prze-



**Rys. 1.** Model kwantowy zmian konfiguracji elektronów i dziur w materiale dielektrycznym prowadzący do efektu TL. (a) – jonizacja spowodowana lokalizacją elektronów i dziur w centrach powstałych wokół domieszek. (b) – rekombinacja elektronów wywołana przez ogrzewanie i emisję światła  
**Fig. 1.** Quantum model of changes in electrons and holes configuration in a dielectric material leading to a TL effect. (a) – ionisation causing a localization of electrons and holes in the centers created around the dopants. (b) – recombination of electrons caused by heating and light emission

wodnictwa i pułapkami piercingowymi (dziurkowymi lub po prostu dziurami), jeśli są blisko pasma walencyjnego. Elektrony przeniesione przez promieniowanie z pasma walencyjnego do pasma przewodnictwa są wychwytywane przez pułapki elektronowe. Pułapki piercingowe, będące centrami rekombinacji, podczas ogrzewania wychwytyują elektrony uwalniane z pułapek elektronowych, co w konsekwencji tego procesu prowadzi do emisji światła luminescencji.

Zjawisko termoluminescencji jest, zatem procesem dwuetapowym, w którym ekspozycja i odczyt mogą być od siebie oddalone w czasie. Czas odległy między naświetleniem a odczytem może wynosić setki tysięcy, a nawet miliony lat. Pierwszym etapem jest wzbudzenie materiału termoluminescencyjnego promieniowaniem jonizującym lub światłem. W tym kroku następuje jonizacja materiału, co oznacza, że elektrony z pasma walencyjnego lub z pasm położonych głębiej są przenoszone do pasma przewodnictwa. Niektóre z tych elektronów z pasma przewodnictwa mogą trafić do pułapek elektronowych, a dziury pozostawione przez elektrony migrują do pasma walencyjnego, przechodząc częściowo przez pułapki piercingowe. W zależności od roli, jaką pełnią pułapki na różnych poziomach, są one określane, jako pułapki aktywne, pułapki głębokie oraz tzw. centra rekombinacji. Tak, więc pod koniec pierwszego etapu zjawiska TL mamy określoną liczbę wypełnionych pułapek elektronowych i pułapek dziurowych, która jest w pewnym zakresie proporcjonalna do pochłoniętej energii.

W drugim etapie procesu TL elektrony z pułapek w wyniku ogrzewania są przenoszone do pasma przewodnictwa, skąd rekombinują do centrów rekombinacji zawierających uwięzione nośniki przeciwnego

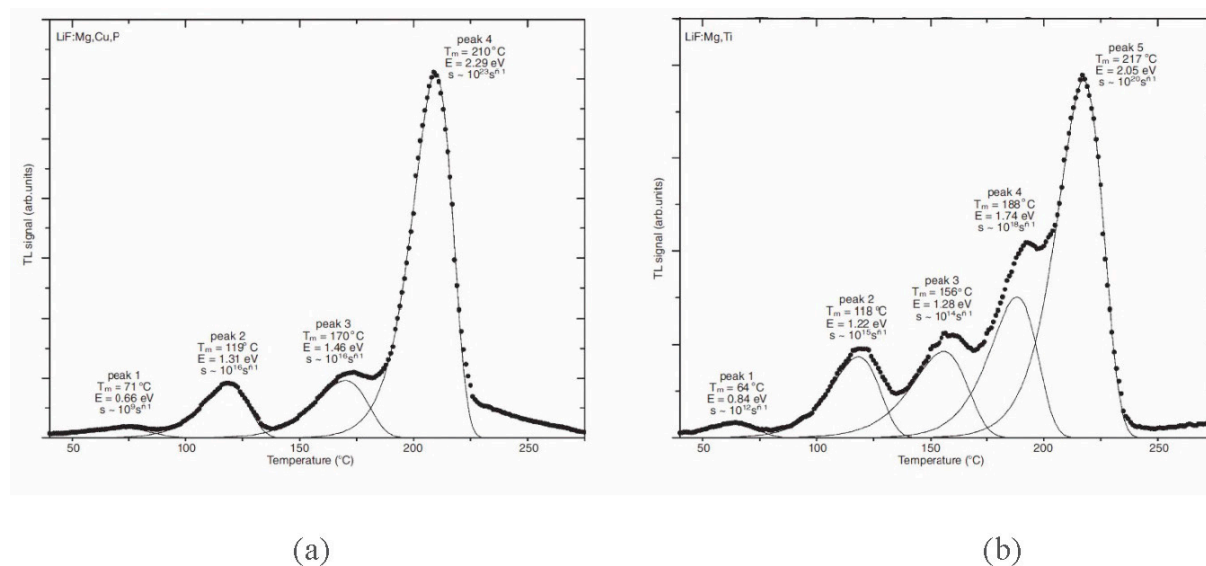
znaku (centra pułapka/dziura). W procesie rekombinacji elektrony uwalniają energię w postaci światła, dzięki czemu substancja powraca do stanu podstawowego (równowagi). Energia potrzebna do uwolnienia uwięzionych nośników jest, co najmniej równa różnicy między poziomem pułapki a pasmem przewodnictwa, (jeśli „aktywnymi nośnikami” są elektrony). Dla typowych materiałów termoluminescencyjnych (stosowanych w dozymetrii TL) różnica między tymi warstwami powinna być większa od energii promieniowania cieplnego w temperaturze pokojowej i mniejsza od energii promieniowania cieplnego w temperaturze kilkuset stopni. Typowe widma emisyjne w różnych temperaturach obserwowane dla LiF: MCP i LiF: MT pokazano odpowiednio na rys. 2(a) i 2(b). Zgodnie z oczekiwaniami obserwuje się wzrost intensywności sygnału TL wraz ze wzrostem temperatury.

W materiałach TL zachodzą również procesy konkurujące z procesem rekombinacji, co prowadzi do degradacji wydajności zjawiska TL [7]. Procesy te obejmują na przykład rekombinację elektronu z dziurą bez emisji światła lub ponowne wiązanie elektronu w pułapkę elektronową, jak również dużą liczbę elektronów tworzących fałę, co powoduje rozproszenie początkowo pochłoniętej energii w postaci energii cieplnej.

Zmierzoną dawkę zaabsorbowanego promieniowania  $D$  obliczamy ze wzoru [8]

$$D = I_{TL} C_{calib} \quad (1)$$

gdzie  $I_{TL}$  jest natężeniem sygnału TL, a  $C_{calib}$  to współczynnik kalibracji uwzględniający czułość detektora i geometrię eksperymentu.



**Rys. 2.** Kształty krzywych świecenia TL dla detektorów LiF: MCP(a) i LiF: MT(b), uzyskane przez liniowe nagrzewanie z prędkością 20 C/s. Dawka 1,5 mGy

**Fig. 2.** The shapes of TL glow curves for LiF: MCP (a) and LiF: MT (b) detectors, obtained by linear heating with rate 20 C/s. Dose 1.5 mGy

Jako  $I_{TL}$  wykorzystywana jest krzywa świecenia TL scałkowana w wybranym zakresie temperatur. Najczęściej wybiera się pik w okolicach 200°C. Ta zależność może być wykorzystana tylko w ograniczonym zakresie dawek i rodzajów energii promieniowania. W rzeczywistości w celu wyznaczenia dawki pochłoniętej konieczne jest zastosowanie szeregu współczynników korekcyjnych, które uwzględniają m.in. nieliniowość charakterystyki dawki, poprawkę na wartość energii oraz zanik sygnału w czasie (fading).

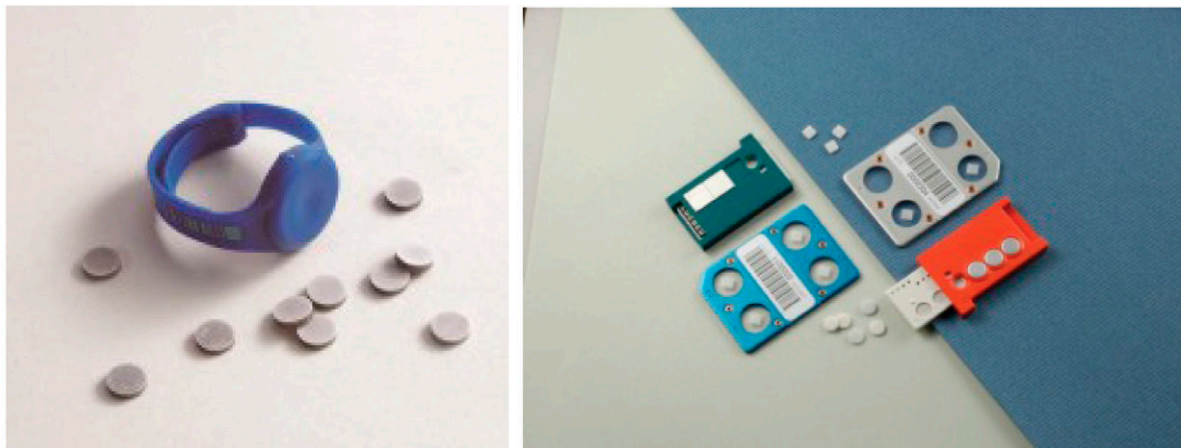
### 3. TYPY DETEKTORÓW TL I ICH WŁAŚCIWOŚCI

Najczęściej stosowanym materiałem TL jest fluorek litu LiF. Na jego bazie oparte jest kilka detektorów, w szczególności takich jak: LiF: Mg,Ti (zwany MTS) oraz LiF: Mg,Cu,P (zwany MCP) [9-12]. Do produkcji detektorów TL stosuje się lit naturalny, zawierający 92,5%  ${}^7\text{Li}$  i 7,5%  ${}^6\text{Li}$  oraz lit wzbogacony lub zubożony w izotop  ${}^6\text{Li}$ . W ten sposób np. dla każdego typu MCP uzyskuje się trzy podtypy: MCP-N, MCP-6 i MCP-7. Niektóre z detektorów opracowanych w IFJ pokazano na rys.3.



(a)

(b)



(c)

(d)

**Rys. 3.** Różne rodzaje detektorów TL opracowanych i wyprodukowanych w IFJ. (a) MTS-N (LiF: Mg,Ti) produkowane w kształcie okrągłych pastylek, jednomilimetrowych kubicznych czujników (chipów) lub proszku są stosowane na całym świecie w ochronie przed promieniowaniem, monitorowaniu środowiska i dozimetrii klinicznej, (b) EYE-D<sup>TM</sup> pozwala na precyzyjne pomiary dawek promieniowania na soczewkę oka, również w przypadku stosowania okularów ochronnych, (c) uchwyty pierścienkowe umożliwiające pomiar dawki podczas operacji z promieniowaniem, (d) aluminiowe karty dozymetryczne TLD, z pastylkami lub chipami TL zatopionymi w fluoropolimerze (np. PTFE), mogą być odczytywane we wszystkich kompatybilnych czytnikach gorącego gazu. W karcie montuje się od jednego do czterech detektorów w dowolnych konfiguracjach i szczelnie zamkniętych w folii fluoropolimerowej. Różne kształty, grubość i skład izotopowy detektorów ( ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^6\text{Li}$ , naturalny Li) różne kolory i numery kart są dostępne na zamówienie.

**Fig. 3.** Different forms TL detectors developed and manufactured in IFJ. (a) MTS-N (LiF: Mg,Ti) produced in form of round pellets, one millimeter cubic chips or powder are environmental used world-wide in radiation protection, environmental monitoring and clinical dosimetry, (b) EYE-D<sup>TM</sup> allows for precise measurements of radiation doses eye lens, also in case when protective glasses are used, (c) ring holders enabling dose measurement during operations with radiation, (d) TLD aluminium dosimetric cards, with TL pellets or chips sealed in fluoropolymer (eg. PTFE), can be evaluated in all compatible hot-gas readers. One to four detectors in arbitrary configurations and sealed in fluoropolymer foil are mounted into the card. Different shape, thickness and isotopic composition of detectors ( ${}^7\text{Li}$ ,  ${}^6\text{Li}$ , natural Li) different colors and card numbers are available on request

Detektory MTS oparte na LiF: Mg, Ti zostały odkryte w latach 40-tych ubiegłego wieku. W latach 60-tych T. Niewiadomski wraz z zespołem IFJ opracował technologię wytwarzania detektorów LiF: Mg,Ti (12 ppm Ti, 200 ppm Mg) w postaci spiekanych pastylek o średnicy 4,4 mm i grubości od 0,4 do 0,9 mm. Detektory te są doskonale przetestowane i stały się standardowymi dozymetrycznymi miernikami promieniowania jonizującego TL. Sygnały detektorów MTS-N wykazują liniową zależność od dawki do około 1 Gy. Zanikanie natężenia sygnału w czasie w temperaturze pokojowej (fading) wynosi zaledwie kilka procent rocznie [9].

Detektory MTT opracowano w IFJ poprzez odpowiedni dobór koncentracji domieszek. Zawierają około 3 razy mniej Mg i 10 razy więcej Ti niż standardowy detektor MTS. Skutkiem tego wykazują większą wydajność przy silnie jonizującym promieniowaniu. Jednak ich czułość jest około 2,5 razy mniejsza niż detektorów MTS, co utrudnia pomiar dawek poniżej 1 mGy [13].

Pierwszy detektor MCP został utworzony przez Nakajima w 1978 roku [14]. W 1985 r. T. Niewiadomski opracował detektor MCP-N o około 30-krotnie większym zakresie czułości i około 3-krotnie niższym tle własnym od dotychczas znanego MCP. W dozymetrii detektory MCP-N, opracowane wykorzystaniu pików dozymetrycznego w temperaturze około 210°C (por. rys.4) nadają się do pomiaru dawek od 1 µGy do maksymalnie 1 kGy.

Bardzo ważnym odkryciem w badaniach MCP było zaobserwowanie pików w wysokotemperaturowej emisji detektorów LiF: Mg,Cu,P, podgrzanych do około 600°C po ekspozycji od 1kGy do 1 MGy [15-16].

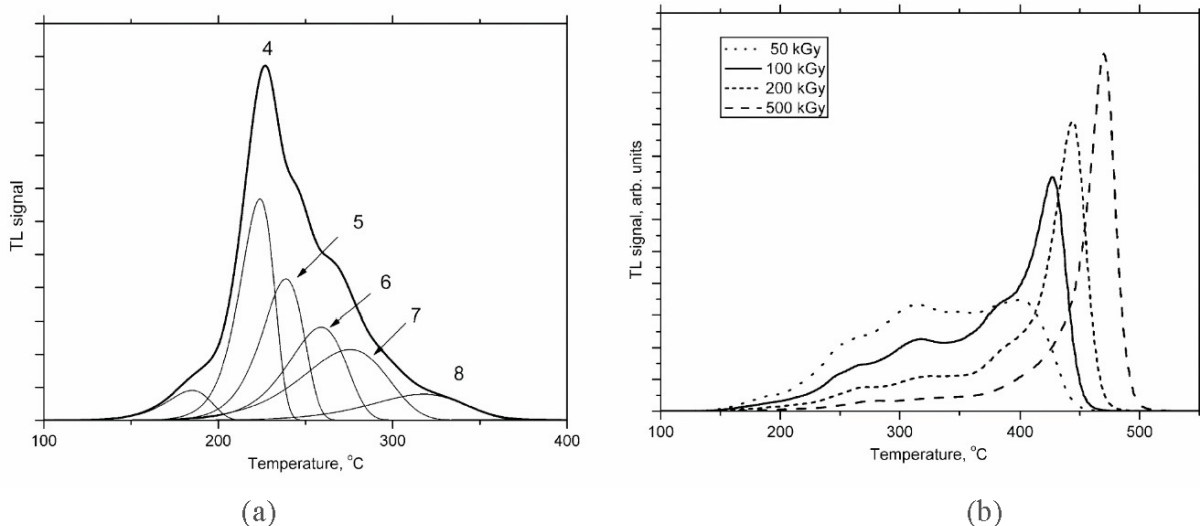
Wraz ze wzrostem dawki jego położenie przesuwa się w kierunku wyższych temperatur (por. rys.4). Pik

ma zastosowanie do pomiarów ultrawysokich dawek. Nowa metoda w połączeniu z tradycyjną metodą określania dawki opartą na głównym pikie dozymetrycznym sprawia, że detektor LiF: Mg,Cu,P jest wyjątkowy: zdolny do pomiaru dawek w zakresie 12 rzędów wielkości od µGy do MGy.

Z punktu widzenia zastosowań w dozymetrii detektory TL są określone przez następujące parametry:

- czułość, definiowana jako całkowite natężenie sygnału emitowanego przez detektor na jednostkę dawki pochłoniętej,
- liniowość charakterystyki dawki. W przypadku większości detektorów TL sygnał odpowiedzi w funkcji dawki jest liniowy do około kilku Gy, kiedy staje się podliniowy lub nadliniowy względem saturacji [17],
- zanikanie – spadek sygnału w czasie,
- podobieństwo tkankowe opisane wzorem Furetty [18],
- względna wydajność; która jest stosunkiem sygnału detektora TL dla badanego promieniowania do sygnału tego detektora dla promieniowania odniesienia, na przykład  $^{137}\text{Cs}$  lub  $^{60}\text{Co}$ ,
- własne tło. Jest to sygnał mierzony przez nienaświetlony detektor, wyrażony w jednostkach dawki. Dla detektorów MCP-N jest to około kilkuset Gy.

Metoda TLD jest najczęściej stosowaną techniką w dozymetrii indywidualnej i środowiskowej. Ze względu na niewielkie rozmiary, niską cenę, dobrą charakterystykę energetyczną, szeroki zakres mierzonych dawek, niewrażliwość na czynniki środowiskowe, detektory TL są chętnie stosowane praktycznie we wszystkich dziedzinach dozymetrii. Jednak stale rozwijane są nowe materiały i nowe metody pomiaru TLD.



**Rys. 4.** Zmiany kształtu krzywej świecenia detektorów MCP-N poddanych działaniu ultrawysokich dawek: (a) ekspozycja poniżej 50 kGy rozłożona na 8 pików, (b) ekspozycja na dawki powyżej 50 kGy: pojawia się nowy pik

**Fig. 4.** Changes of the glow-curve shape of MCP-N detectors exposed to ultra high doses: (a) exposure below 50 kGy deconvoluted on 8 peaks, (b) exposures to doses above 50 kGy: a new peak appears

#### 4. OPTYCZNIE STYMULOWANA LUMINESCENCJA (OSL) I RADIOFOTO-LUMINESCENCJA (RPL)

Oprócz detektorów luminescencyjnych termicznie stymulowanych opracowywane są również detektory (OSL) stymulowane optycznie, czyli światłem. Istnieją również radio-fotodetektory sterowane promieniowaniem jonizującym i światłem. W detektorach OSL elektrony są wzbudzone przez światło do pasma przewodnictwa. Migrują w pobliżu centrów dziurowych i rekombinują dając emisję światła. Detektory OSL są podatne na działanie światła, dlatego należy je przechowywać w ciemności.

Technika radiofotoluminescencji (RPL) polega na jonizacji i pułapkowaniu nośników ładunku. Sygnał RPL jest wynikiem przejścia elektronu ze stanu wzbudzonego do stanu podstawowego w obrębie danego defektu. Energia emitowanego światła jest mniejsza od energii stymulującej. W efekcie długość fali emitowanego światła jest zawsze większa niż długość fali stymulujących fotonów. Sygnałowi RPL towarzyszy silna fotoluminescencja (niewynikająca z ekspozycji na promieniowanie), więc technika daje wysokie tło [19, 20, 21].

Porównując techniki pomiarowe TL i OSL widzimy, że opierają się one na tym samym mechanizmie fizycznym, a różnią się jedynie czynnikami stymulującymi (światło lub ciepło). Pozostałe techniki, RPL i OSL, różnią się mechanizmem fizycznym, a są podobne pod względem czynnika stymulującego (światła).

Dostępne materiały dozymetryczne do techniki TL to: LiF: Mg,Ti, LiF: Mg,Cu,P, CaSO<sub>4</sub>:Dy, CaF<sub>2</sub>:Tm, Li<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub>:Cu, Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> i inne. W przypadku OSL stosuje się Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:C i BeO. W przypadku RPL stosuje się szkła fosforanowe oraz LiF dla wysokich dawek.

#### 5. ZASTOSOWANIE DOZYMETRÓW TERMOLUMINESCENCYJNYCH

Ponad 1 milion detektorów TL firmy IFJ jest obecnie używanych w elektrowniach jądrowych, a także w klinikach i laboratoriach dozymetrycznych w ponad 40 krajach.

W dozymetrii indywidualnej zwykle mamy do czynienia z dawkami w zakresie od 0,1 mSv do 1 Sv, wywołanymi energiami promieniowania od 15 keV do 3 MeV w czasie ekspozycji od 1 do 3 miesięcy (skrót Sv oznacza jednostkę dawki równoważnej promieniowania o nazwie siver). Najczęściej spotykane typy detektorów termoluminescencyjnych, oparte na MTS-N lub MCP-N w postaci pastylek, są wykonane techniką spiekania [5-9]. W zależności od przeznaczenia umieszcza się je w specjalnych kasetach lub w pojemnikach w kształcie pierścionków. Konstrukcja kasety umożliwiła pomiar dawki dozymetrycznej „na głębokości tkanki” w zakresie od 1000 mg/cm<sup>2</sup> do 7 mg/cm<sup>2</sup>. Dozymetry neutronowe pokryte są specjalną osłoną wykonaną ze

szkła borowego z uwagi na duży przekrój czynny <sup>10</sup>B na neutrony. Termoluminescencyjne dozymetry soczewkowe Eye-D™ są umieszczane w specjalnym uchwycie nakładanym na elastyczną opaskę, co pozwala je używać również osobom noszącym tradycyjne okulary.

Detektory stosowane w dozymetrii środowiskowej są bardzo czułe. Wykrywają dawki w zakresie 3 rzędów wielkości, od 0,03 mSv do 1 Sv i są wykorzystywane do monitorowania środowiska naturalnego oraz środowiska pracy.

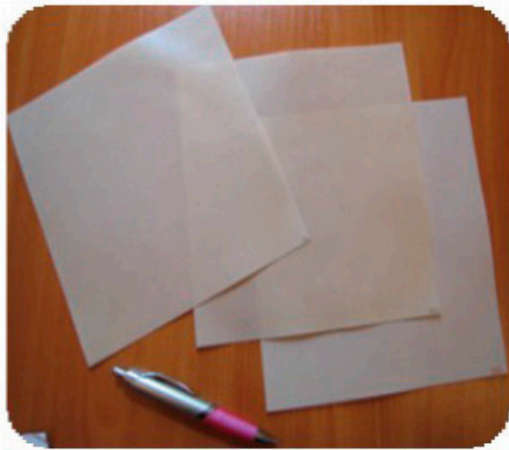
Opracowane niedawno detektory LiF: Mg,Cu,P do pomiaru ultrawysokich dawek zostały zastosowane do badania różnych pól promieniowania w urządzeniach pracujących w Wielkim Zderzaczu Hadronów (LHC), zlokalizowanym w CERN (Europejskim Ośrodku Badań Jądrowych), Genewa, Szwajcaria. W infrastrukturze eksperymentu LHCb zamontowano ponad sto detektorów TL. Szczególnie ambitnym wyzwaniem było zainstalowanie dozymetrów TL w Międzynarodowym Termojądrowym Reaktorze w Cadarache we Francji, gdzie generowane są strumienie prędkich neutronów.

#### 5.1 Dozymetria kliniczna

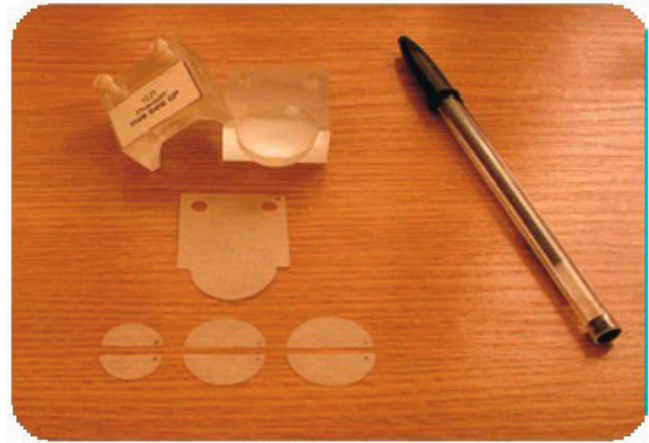
Radioterapia protonowa jest jedną z metod leczenia nowotworów zlokalizowanych w szczególnie czułych organach np. w gałce ocznej. W tego typu terapii do napromieniania guza stosuje się wiązkę protonów dostosowaną do kształtu guza. Jest to charakterystyczna cecha radioterapii protonowej. Dzięki tzw. pikowi Bragga odpowiednia dawka promieniowania jest precyzyjnie dostarczana do leczonego guza, a równoczesne naświetlenie zdrowych tkanek jest minimalne, co zmniejsza skutki uboczne leczenia. Radioterapia protonowa umożliwia skuteczne niszczenie guzów, oszczędzając krytyczne narządy, takie jak nerw wzrokowy, płamka żółta czy soczewka. Dzięki temu pacjenci mogą zachować swój wzrok w leczonym oku.

Częścią IFJ jest Centrum Cyklotronowe Bronowice (CCB), zajmujące się wykorzystaniem wiązki protonów oprócz badań naukowych do radioterapii nowotworów. Bazą aparaturową Centrum są dwa cyklotrony C-230 i AIC-144 oraz stanowiska gantry. Gantry, to obrotowe ramię, które stanowi zestaw magnesów odchylających wiązkę terapeutyczną, umieszczonych na sztywnej, obracanej konstrukcji stalowej. W zastosowaniach medycznych wymagania dotyczące dokładności pomiaru dawki są bardzo wysokie. Należy brać pod uwagę nawet niewielkie zmiany czułości TLD, dlatego do mapowania dawki opracowano i zrealizowano prototyp dwuwymiarowych planarnych (2D) systemów dozymetrycznych TL [22]. Niektóre ich przykłady pokazano na rys.5.

Detektory TL o dużej powierzchni (kilku cm<sup>2</sup>) zostały wykonane przy użyciu różnych technik. Uzyskuje się je na przykład przez: przyklejenie proszku termoluminescencyjnego (LiF: Mg,Ti lub LiF: Mg,Cu,P) do folii



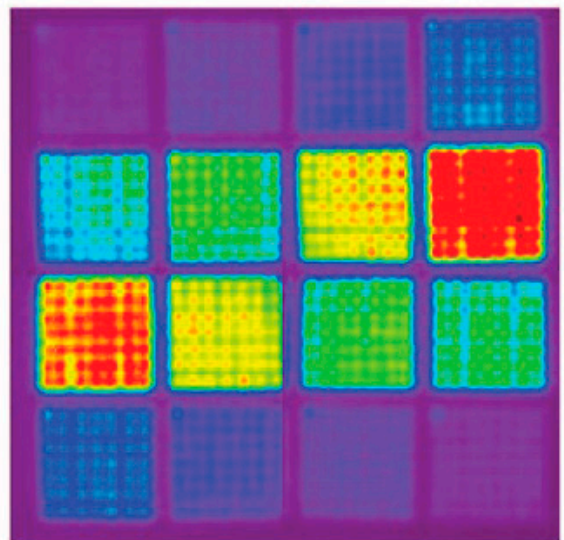
(a)



(b)



(c)



(d)

**Rys. 5.** Detektory planarne 2D TL (a-c) i przykłady rejestrowanych rozkładów dawki promieniowania (d)  
**Fig. 5.** Planar 2D TL detectors (a-c) and examples of the registered radiation dose distributions (d)

alumiowej o grubości 0,3 mm lub przez sprasowanie proszku i spiekanie. Obecnie planarny układ TL jest stosowany do wizualizacji submilimetrowej. Elastyczny detektor owija się wokół badanego obiektu (np. fantomu gałki ocznej zrobionego ze sztucznego tworzywa równoważnego żywej tkance) i umieszcza we wkłęsłym aplikatorze okulistycznym Ru-106. Po ekspozycji detektor zostaje rozwinięty i wyprostowany do odczytu. Planarny dwuwymiarowy detektor TL (2D) opracowany w IFJ, zamiast konwencjonalnego fotopowielacza, współpracuje z czułą kamerą CCD (Charge Couple Device). Taka konfiguracja pozwala na wyznaczenie natężenia światła wywołanego emisją TL z rozdzielczością przestrzenną 0,1 mm. Zarejestrowany rozkład dawki promieniowania jest obrazem izo-dawki: każdy kolor reprezentuje jeden poziom uszkodzenia (rys.5 (d)).

## 5.2 Detektory TLD w eksploracji Kosmosu

Promieniowanie kosmiczne zostało odkryte przez Victora Franza Hessa 7 sierpnia 1912 r. (Nagroda Nobla w 1936 roku) i dokładnie 100 lat później, 7 sierpnia 2012 r. łazik Curiosity wykonał pierwszy pomiar tego promieniowania na Marsie. Teraz promy kosmiczne są w stanie penetrować przestrzeń w odległości do 300 km od Ziemi.

Promieniowanie kosmiczne składa się z trzech składowych:

- Składowa galaktyczna pochodzi spoza Układu Słonecznego. Jest ona bardzo wysoko energetyczna ( $10^{20}$  eV), wysoce przenikliwa, trudna do osłony, stymulująca promieniowanie wtórne. Jej źródłem są głównie jądra atomów od wodoru  $^1\text{H}$  do uranu  $^{238}\text{U}$



o dużej gęstości jonizacji, dające silne efekty biologiczne.

- Składowa słoneczna wykazuje aktywność cykliczną. Jest rodzajem wiatru słonecznego o niskiej energii, wywołanego eksplozjami słonecznymi. Zaburza składową galaktyczną.
- Pasy radiacyjne Van Allena to pasy zewnętrzne, składające się głównie z elektronów i protonów schwytych w pułapkę przez ziemskie pole magnetyczne.

Narażenie astronautów na promieniowanie kosmiczne jest istotnym problemem w długoterminowych misjach na orbicie okołoziemskiej oraz w misjach międzyplanetarnych. Aby oszacować radiacyjne ryzyko astronautów, Europejska Agencja Kosmiczna przygotowała eksperyment o nazwie „Matroshka”. W ramach tego eksperymentu specjalny humanoidalny fantom został na okres jednego roku poddany ekspozycji w otwartej (poza pojazdem) przestrzeni na zewnątrz Międzynarodowej Stacji Kosmicznej. Wewnątrz fantomu umieszczono kilka tysięcy czujników pomiarowych w celu określenia dawek przypadających na poszczególne narządy. Do takich pomiarów w ludzkim fantomie najlepiej nadają się detektory termoluminescencyjne (TLD) o objętości kilku mm<sup>3</sup>, które nie wymagają żadnego zasilania i kumulują w czasie sygnał wywołany promieniowaniem. Większość detektorów użytych w tym eksperymencie została przygotowana w Instytucie Fizyki Jądrowej w Krakowie [23-24]. Dzięki połączeniu różnych typów detektorów możliwe było odseparowanie składowych pola promieniowania kosmicznego i oszacowanie gęstości ich jonizacji.

TLD zostały specjalnie zoptymalizowane pod kątem dozymetrii kosmicznej. Ich właściwości badano za pomocą wiązek jonów pochodzących z różnych akceleratorów (HIMAC w Japonii, Brookhaven i Loma Linda w USA).

Całkowity czas trwania eksperymentów wynosił 4705 dni. Pomiary wykonano wewnątrz i na zewnątrz stacji kosmicznej. Model ciała ludzkiego MATROSHKA, przeznaczony do wyznaczania przestrzennego rozkładu dawki promieniowania i oceny narażenia astronautów na promieniowanie, został wyposażony w zestaw aktywnych i pasywnych detektorów promieniowania. Fantom składał się z 33 warstw ułożonych w regularnej sieci, o wektorze bazowym długości 2,5 cm, zawierającej 1631 miejsc pomiarowych z 5373 detektorami TLD (3140 z IFJ PAN) i 7 detektorami aktywnymi.

Eksperyment został przeprowadzony w czterech etapach:

- MATROSHKA1 – 2004/05 – 616 dni (539 na zewnątrz ISS)
- MATROSHKA2A – 2006 – 337 dni
- MATROSHKA2B – 2007/2009 – 518 dni
- MATROSHKA – 2 KIBO

Trzy pierwsze z nich zmierzyły dawki równoważne odpowiednio: 0,695 mSv/d, 0,529 mSv/d i 0,569 mSv/d.

Osobiste dozymetry astronautów wykazały odpowiednio: 2,330 mSv/d, 0,620 mSv/d i 0,644 mSv/d, co oznacza, że te dozymetry przeszacowały ekspozycję na promieniowanie o współczynnik 3 na zewnątrz ISS i 13 – 18% wewnątrz Międzynarodowej Stacji Kosmicznej (ISS).

### 5.3 Dozymetria ratunkowa

Szybka ocena dawki promieniowania po niespodziewanej ekspozycji jest zadaniem dozymetrii wypadkowej [25]. W razie wypadku radiologicznego szkła pochodzące z ekranów telefonów komórkowych, umieszczanych zwykle przy ciele człowieka, mogą służyć jako awaryjne termoluminescencyjne dozymetry osobiste.

Czas pomiędzy napromienianiem a odczytem TL jest kluczowy, dlatego należy zoptymalizować przygotowanie ekranu telefonu komórkowego i warunki jego odczytu.

Przygotowanie polega na zdjęciu ekranu z telefonu, usunięciu folii, wytrawieniu kwasem lub mieszaniną kwasów i pocięciu na próbkę 3×3mm<sup>2</sup>. Następnie po wyborze filtra możliwe jest odczytanie widma sygnału.

Szkła wyekstrahowane z różnych marek telefonów komórkowych mają różne właściwości dozymetryczne, ale wszystkie dają sygnał luminescencyjny, który można wykorzystać do określenia dawki pochłanianego promieniowania.

Innym przykładem wykorzystania obiektu codziennego użytku, w którym stosowany jest sygnał TL, jest system zabezpieczeń banknotów. Nowe banknoty, które weszły do obiegu w Polsce wiosną 2014 r. mają wysoki sygnał własny, więc są mniej podatne na fałszowanie.

### 5.4 Mikroobrazowanie rozkładu dawki promieniowania

Nowe działania, takie jak mikroobrazowanie rozkładu dawki, diagnostyka wiązek jonów, radiografia (z rozdzielczością poniżej 1 μm) oraz obserwacja pojedynczych śladów naładowanych cząstek wymagają detektorów monokrystalicznych LiF. Używa się dwóch technik hodowli monokryształów: Micro Pulling Down (mikro ciągnięcie) oraz metody Czochralskiego, które są jeszcze udoskonalane i testowane. [26].

## 6. WNIOSKI

W artykule dokonano przeglądu badań nad właściwościami materiałów TL oraz nad ich zastosowaniem w dozymetrii. Inną ważną dziedziną, nie omawianą tutaj, w której termoluminescencja znajduje zastosowanie, jest datowanie [27-28] minerałów i innych materiałów, zwłaszcza w geologii, archeologii i hydrologii.

Luminescencja stymulowana termicznie jest najczęściej stosowaną techniką spośród wszystkich metod

pomiarowych stosowanych w pasywnej dozymetrii promieniowania jonizującego.

Obecnie rozwój technik dozymetrycznych zmierza w kierunku stymulacji optycznej, ponieważ stymulacja światłem nie wymaga podgrzewania próbki, ani stosowania atmosfery ochronnej. Detektory OSL mają szerokie możliwości strojenia długości fali stymulującej i pomiarowej oraz możliwość wielokrotnego odczytu raz napromieniowanych próbek. Mogą również znaleźć zastosowanie w obrazowaniu wypadkowym oraz mikro-obrazowaniu wiązek jonów.

Małgorzata Nowina Konopka\*,  
Paweł Bilski\*, Barbara Obryk\*,  
Barbara Marczevska\*, Paweł Olko\*,  
Mariusz Kłosowski\*, Wojciech Gieszczyk\*  
\*Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego  
Polskiej Akademii Nauk, Kraków

#### Literatura:

- [1] free Wikipedia: <http://www.wikipedia.org/>
- [2] R. Boyle, Register of the Royal Society, 213 (1663).
- [3] M. Skłodowska-Curie, Discovery of Radium, Century Magazine, 461-466 (1904),
- [4] J. T. Randall & M. H. Wilkins, 945, Phosphorescence and Electron Traps, I and II, The Study of Trap Distributions, Proc. R. Soc. A., **184**, 366-389 (1945), ibidem 390-407 (1945).
- [5] T. Niewiadomski, 25 years of thermoluminescence dosimetry at IFJ, Rad. Prot. Dosim., **85**, 269-272 (1994).
- [6] Encyklopedia fizyki 1972, Praca zbiorowa, Państwowe Wydawnictwo Naukowe (in Polish)
- [7] F. McKinlay, Thermoluminescence dosimetry, Medical Physics Handbook 5, Adam Hilger Ltd. 1981
- [8] Z. Hryniewicz, et al., Człowiek i promieniowanie jonizujące, Wydawnictwo Naukowe PWN, 70-128 (in Polish).
- [9] T. Niewiadomski, Dozymetria termoluminescencyjna w praktyce, Raport IFJ nr 1550/D,(1991)(in Polish).
- [10] P. Bilski, Lithium Fluoride: From LiF: MgTi to LiF: Mg,Cu,P, Radiat. Prot. Dosim., **100**, 199-206 (2002).
- [11] Y. S. Horowitz, LiF: Mg,Ti versus LiF: Mg Cu,P: the competition heats up, Radiat. Prot. Dosim., **47**, 135-141(1993).
- [12] S. W. S. McKeever, M. Moscovitch, P.D Townsend, Thermoluminescence dosimetry materials: properties and uses, Nuclear Technology Publishing, 1995.
- [13] P. Bilski, M. Budzanowski, P. Olko, E. Mandowska, LiF: MgTi (MTT) detectors optimised for High – LET dosimetry, Radiat. Meas., **38**, 427-430 (2004).
- [14] T. Nakajima, Y. Murayama, T. Matsuzawa, A. Koyano, Development of Highly Sensitive LiF Thermoluminescence Dosimeter and its Applications, Nucl. Instr. Meth., **157**, 155-162 (1978).
- [15] B. Obryk, P. Bilski, M. Budzanowski, M. Fuerstner, C. Ilgner, F. Jacquenod, P. Olko, M. Puchalska, H. Vincke, The response of different types of TL lithium fluoride detectors to high-energy mixed radiation fields., Radiat. Meas., **43**, 1144-1148 (2008).
- [16] P. Bilski, B. Obryk, P. Olko, E. Mandowska, A. Mandowski, J. L. Kim, Characteristics of LiF: Mg, Cu, P thermoluminescence at ultra-high dose range, Radiat. Meas., **43**(2), 315-318 (2008).
- [17] P. Bilski, J. Blomgren, F. d'Enrico, A. Esposito, G. Fehrenbacher, F. Fernandez, A. Fuchs, N. Golnik, V. Lacoste, A. Leuschner, S. Sandri, M. Silari, F. Spurny, B. Wiegel, P. Wright, The problems associated with the monitoring of complex workplace radiation fields at European high-energy accelerations and thermonuclear fusion facilities, Radiat. Prot. Dosim., **126**, 491-496( 2007).
- [18] C. Furetta, P. Weng, Operational Thermoluminescence Dosimetry World Scientific Publishing, Co. Pte. Ltd., Singapore, 1998
- [19] J.A. Perry, RPL Dosimetry. Radioluminescence in Health Physics, Medical Science Series, IOP Publishing Ltd, Bristol & Boston, 1987.
- [20] M. Sialri, Passive Dosimeters in LHC, 5th LHC Radiation Workshop, 2005; <http://indico.cern.ch/conferenceDisplay.py?confid=a056455>
- [21] H. Vincke, I. Brunner, I. Floret, D. Forkel-Wirth, M. Fuestner, S. Mayer, C. Thesis, Response of Alanine and Radio-Photo-Luminescence dosimeters to mixed high-energy radiation fields, Radiat. Prot. Dosim., **125**(1-4), 340-344 (2007).
- [22] M. Sądel, P. Bilski, J. Swakoń, M. Ptaszkiewicz, M. Boberek, P. Olko, Relative thermoluminescent efficiency of LiF detectors for proton radiation: batch variability and energy dependence, Radiat. Meas., **56**, 205-208 (2013).
- [23] M. Ptaszkiewicz, P. Bilski, High Accuracy TL Dosimetry in Measurements of Organ Doses due to Space Radiation - Matroshka Experiment, Konferencja „Fizyka i Inżynieria we Współczesnej Medycynie i Ochronie Zdrowia” & 13 Zjazd PTFM, Warszawa, 29-30 September 2005, K. Zaremba et al (Ed.), Polskie Towarzystwo Fizyki Medycznej (PTFM), 96 (2005).
- [24] P. Olko, P. Bilski, Ł. Czopyk, Application of TLD Detectors for Measurements of Radiation Doses in Space, Konferencja „Fizyka i Inżynieria we Współczesnej Medycynie i Ochronie Zdrowia” i 13 Zjazd PTFM, Warszawa, 29-30 września 2005, K. Zaremba et al. (Ed.), PTFM, 79 (2005).
- [25] A. Mroziak, B. Marczevska, P. Bilski, M. Kłosowski, Rad. Phys.&Chem.,**104**, 88-92 (2014).
- [26] B. Marczevska, P. Bilski, W. Gieszczyk, M. Kłosowski, Two-dimensional thermoluminescence method for checking LiF crystals homogeneity, Journal of Crystal Growth, **8**, 88-92 (2014).
- [27] Luminescence applications in biological, chemical, environmental, and hydrological sciences, Marvin C. Goldberg (Ed.), American Chemical Society, Symposium Series, vol. **383**, 1989; DOI: 10.1021/bk-1989-0383
- [28] M. J. Aitken, Thermoluminescence dating, Academic Press, London 1985.

# JAKIE REAKTORY DLA KANADY: CANDU, SMR?

## What reactors for Canada: CANDU, SMR?

Dariusz Witold Kulczyński

**Streszczenie:** Przy spełnieniu pewnych warunków, energetyka jądrowa jest bezpieczniejsza od innych gałęzi przemysłu. Nadzieje związane z bezpieczeństwem i kosztem eksploatacji SMR-ów będą weryfikowane w kolejnych latach, gdy zostanie wybudowana flota małych, modularnych reaktorów. Muszą one następnie przepracować dostateczną ilość godzin w celu uzyskania rzetelnych danych statystycznych na temat ich niezawodności i bezpieczeństwa.

W artykule omówiono posunięcia rządów prowincji Ontario i rządu federalnego mające negatywny wpływ na rozwój kanadyjskiej energetyki. Na podstawie kanadyjskiego systemu jądrowego CANDU autor tłumaczy zasadę wielopoziomowego bezpieczeństwa jądrowego.

**Abstract:** Under certain conditions nuclear power is safer than other branches of industry. Safety and operating costs of SMR's will need to be verified by statistics after adequate fleet of Small Modular Reactors has been built and operated for sufficient number of hours. Some decisions of provincial and federal governments, detrimental to Canadian power industry have been presented. The author explains how Canadian nuclear system CANDU implements the principle of "defense in depth".

**Słowa kluczowe:** SMR, ISMR, EPR, AREVA, Framatome, AP1000, APR1400, CNSC, CANDU®, PHWR, NPD, Darlington, Pierwotny Obieg Chłodzenia, Ciężkowodny Moderator, Rury Ciśnieniowe, Calandria, Przestrzeń Międzyururowa, Gaz Międzyururowy, Ontario Hydro, OPG, obszar szybkiej krytyczności, zapas bezpieczeństwa.

**Keywords:** : SMR, ISMR, EPR, AREVA, Framatome, AP1000, APR1400, CNSC, CANDU®, PHWR, NPD, Darlington, Primary Heat Transport System, Heavy Water Moderator, Pressure Tubes, Calandria, Annulus Space, Annulus Gas, Ontario Hydro, OPG, Prompt Criticality Region, Safety Margins.

### 1. Przyszłość dużych reaktorów PWR

Reaktory lekkowodne ciśnieniowe (Pressurized Water Reactors) stanowią około 70% wszystkich pracujących reaktorów. Chłodziwo nie opuszcza obudowy bezpieczeństwa, co ułatwia kontrolę materiałów radioaktywnych. Natomiast żeby współczesne PWR-y były konkurencyjne, to koszt ich budowy i uruchomienia musi być obniżony kilkakrotnie w stosunku do tego, co zademonstrowano w Finlandii, we Francji czy w stanie Georgia w USA. Jednym z problemów współczesnych bloków jądrowych jest skomplikowany system sterowania i zabezpieczeń i związane z tym opóźnienia w budowie. Przykłady bloków EPR Arey (obecnie Framatome) o mocy 1600 MW, takie jak Olkiluoto III (Finlandia) i Flamanville III (Francja) skutecznie zniechęciły potencjalnych nabywców. Blok Olkiluoto III został zsynchronizowany z siecią w marcu 2022 r., po czym odstawiono go z przyczyn technicznych. Normalna produkcja energii ma się rozpocząć w grudniu 2022 r. Blok trzeci elektrowni we Flamanville ma być uruchomiony dopiero pod koniec 2022 r. i jego całkowity koszt przekroczy 19 mld € (Euro). Dwa nowe bloki Westinghouse'a AP1000 (1100 MW każdy) w elektrowni Vogtle w stanie Georgia kosztują już przeszło 30 mld dolarów (w chwili pisania artykułu kurs Euro wobec US\$ jest prawie 1:1). Przy uwzględnieniu opóźnień i kosztów koncernu Toshiba wniesio-

nych przed bankructwem Westinghouse'a, całkowity koszt budowy bloków 3 i 4 EJ Vogtle może przekroczyć 35 mld USD. Tak więc liczne opóźnienia w uruchomieniu, przesunięcia rozpoczynania nowych inwestycji oraz koszty zniechęcają potencjalnych inwestorów.

Wśród dużych reaktorów PWR dobrze plasują się południowo-koreańskie APR1400. Sześć z nich uruchomiono bez większych opóźnień, a kolejnych sześć jest w budowie.

### 2. Małe Modularne Reaktory SMR

Na całym świecie wiele wiąże się obecnie z tzw. „małymi reaktorami modularnymi”, czyli Small Modular Reactors. Mają one być tanie w budowie i w obsłudze, a także bardzo bezpieczne. Moduły można dodawać do uzyskania wyższej mocy, co ma być nadal tańsze niż wielkie bloki. Upłynie jednak sporo lat, zanim powyższy optymizm zweryfikuje eksploatacja tych bloków jądrowych i odpowiednie statystyki. W Kanadzie rozpatrywane są trzy główne typy SMR-ów. Firma NuScale oferuje reaktory ciśnieniowe Integral Pressurized Water Reactor o mocy modułu 77 MWe, Terrestrial Energy reaktor 200 MWe chłodzony ciekłymi solami, wreszcie GE-Hitachi reaktor ciśnieniowy wrzący 300 MWe. Pierwszy SMR w Kanadzie, którego budowa rozpoczyna się w elektrowni Darlington w Ontario, to GE Hitachi BWRX-300 o mocy 300 MW. Reaktory lek-

kowodne wrzące mają lepszą sprawność termiczną niż PWR-y lub PHWR-y. Jeszcze lepszą sprawność postulują zwolennicy małych reaktorów wysokotemperaturowych. W sierpniu 2022 r. firma Terrestrial Energy podpisała z agencją rządu zachodniej prowincji Alberta list intencyjny (Memorandum of Understanding) o budowie wysokotemperaturowych reaktorów ISMR chłodzonych ciekłymi solami (Integral Molten Salt Reactor) o mocy elektrycznej około 200 MW. Agencja Invest Alberta ma współdziałać z Terrestrial Energy w celu budowy takich reaktorów na potrzeby m.in. przemysłu naftowego. Projekt ISMR miał pewne trudności ze stabilnością grafitowego moderatora w wyższych temperaturach. Być może podpisanie wspomnianego listu intencyjnego z rządem Alberty oznacza, że stan konstrukcji ISMR umożliwia wystąpienie o pakiet zezwoleń CNSC niezbędny do rozpoczęcia budowy.

### 3. Kanadyjska „Zielona Energetyka” a energetyka jądrowa

Zgodnie z podziałem politycznych kompetencji w Kanadzie, energetyka jest w gestii rządów prowincji, ale regulatorem energetyki jądrowej jest federalna komisja bezpieczeństwa jądrowego Canadian Nuclear Safety Commission (CNSC). Rozwój energetyki jądrowej zależy również od federalnego Ministerstwa Zasobów Naturalnych. Wreszcie to rząd federalny ustala tzw. „podatek węglowy”.

Obecny premier Kanady Justin Trudeau znany jest z wiary w powodzenie „zielonej gospodarki”. Świadczy o tym, związana z konferencją COP26 w Glasgow, obietnica redukcji kanadyjskich gazów cieplarnianych (do roku 2030) o 40-45% w stosunku do emisji zanotowanych w 2005 r. Obietnica jest nie tylko nierealna, ale urąga elementarnej arytmetyce. W 2025 r. zostanie wycofana z eksploatacji elektrownia jądrowa w Pickering

(o mocy 3114 MW, kiedyś 4144 MW). Poprzednie rządy prowincji Ontario zaniechały budowy nowych, dużych bloków jądrowych, a także remontu kapitalnego elektrowni Pickering. Elektrownia ta dostarcza obecnie 16% energii elektrycznej w prowincji Ontario. W 2025 r., po odstawieniu ponad 3000 MW w Pickering, udział energii jądrowej w zasilaniu sieci prowincji zmniejszy się od 60 do 45%.

Jedyny blok jądrowy obecnie w budowie to wspomniany SMR BWRX-300 w Darlington o mocy 300 MWe, czyli 10% tego, co dostarcza dziś elektrownia jądrowa Pickering. W dodatku to 300 MW ma być zsynchronizowane z siecią najwcześniej w 2028 r., ponieważ jedyną alternatywą w Ontario są bloki opalane gazem ziemnym, jest jasne, że emisje dwutlenku węgla w Kanadzie potężnie wzrosną w najbliższych latach, nie mówiąc o tym, że przecieki metanu wskutek jego zwiększonego użycia są 30 razy groźniejsze, niż CO<sub>2</sub>. Wzrost emisji gazów cieplarnianych może być w Kanadzie jeszcze gwałtowniejszy ze względu na konieczność remontu kapitalnego elektrowni Bruce B. Jest prawdopodobne, że rozpocznie się on jeszcze podczas wymiany rur ciśnieniowych kanałów ostatniego bloku jądrowego elektrowni Darlington.

### Kanadyjski „zielony projekt”

Przykładem niewiarygodnej wręcz naiwności jest ogłoszenie przez Premiera Justina Trudeau niemiecko-kanadyjskiego „zielonego projektu” podczas ostatniej wizyty kanclerza Olafa Scholza w Ottawie. Niemcy i Kanadyjczycy chcą w wodach przybrzeżnych Nowej Funlandii postawić mnóstwo wiatraków energetycznych, które będą produkowały prąd do elektrolitycznego wytwarzania wodoru. Załadowany na statki, ma on popłynąć w postaci „zielonego amoniaku” (NH<sub>3</sub>) do Niemiec. Tam ma być zamieniony ponownie w wodór – czyste paliwo. Już na Międzynarodowym Kongresie Energii Jądrowej w Toronto w październiku 1993 r. inżynierowie i naukowcy kanadyjscy proponowali produkcję wodoru elektrolitycznego i innych „zielonych paliw” (np. etanolu) w dolinach nocnych zapotrzebowania mocy, gdy dostępna jest tania energia z bloków jądrowych. Byłoby to możliwe od zaraz, bez żadnych wiatraków, pomimo zredukowanej obecnie mocy elektrowni jądrowych w Ontario.

Niemiecko-kanadyjski pomysł wiatraków morskich w Nowej Funlandii już wywołał protesty miejscowej ludności z obawy przed infradźwiękami i ze względów ekologicznych. Projekt jest także chybiony z powodów ekonomicznych, nawet jeśli w przeciwieństwie do turbin budowanych na lądzie ich współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej przekroczy 25%. Warto przypomnieć, co w 2017 r. powiedział w Warszawie prof. Jerzy Buzek wówczas przewodniczący Komitetu Przemysłu, Badań Naukowych i Energii w Parlamencie Europejskim (ITRE): *Najlepszym miejscem dla wiatraków*



**Fot. 1.** Wyprowadzenie mocy generatora do transformatora blokowego trójfazowego w elektrowni Pickering (fot. za zgodą OPG 2007)  
**Photo 1.** Main Output Transformer Isolated Phase Bus (IPB) at Pickering NGS (Picture courtesy of OPG 2007)

energetycznych są regiony nadmorskie, ale ze względu na sól ich trwałość może być ograniczona do zaledwie 10. lat, a nie 40 jak się przyjmuje w rachunku ekonomicznym.



**Fot. 2.** Środki bezpieczeństwa wprowadzone w elektrowni jądrowej Darlington po ataku na World Trade Center (fot. za zgodą OPG 2007)

**Photo. 2.** Special security measures implemented at Darlington NGS after (picture courtesy of OPG 2007)

#### 4. Bezpieczne reaktory CANDU

Od 60. lat energetyka jądrowa w Kanadzie opiera się wyłącznie na reaktorach ciężkowodnych – ciśnieniowych PHWR (Pressurized Heavy Water Reactors – inaczej CANDU od Canada Deuterium Uranium). Nie używają one drogiego uranu wzbogaconego tylko spieków uranu kopalnego o zawartości 0,7% U-235. To tanie paliwo wymaga jednak dość drogiego chłodziwa i moderatora  $D_2O$ , bo lekka woda zbyt pochłania neutrony.

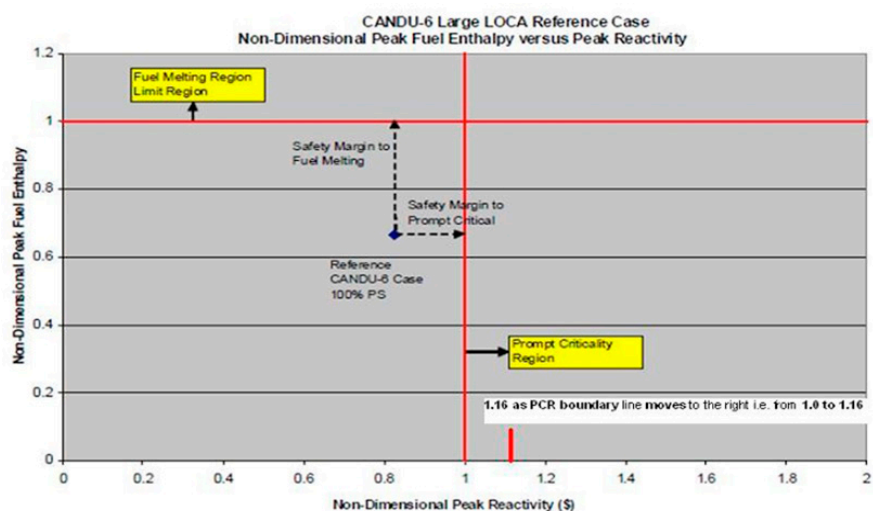
Pierwszy kanadyjski reaktor CANDU w Rolphton w prowincji Ontario osiągnął stan krytyczny w kwietniu 1962 r. W czerwcu tego samego roku 20 MW mocy z elektrowni NPD (Nuclear Power Demonstration) włączono do sieci firmy Ontario Hydro. Elektrownia NPD pracowała bezpiecznie przez 25 lat uzyskując 70% współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej.

Przez 60 lat jakiegokolwiek awarie w elektrowniach CANDU zostały opanowane bez naruszenia fundamentalnych zasad bezpieczeństwa jądrowego. Podstawowe zasady bezpieczeństwa eksploatacji wszystkich elektrowni atomowych to tzw. trzy C: CONTROL!, COOL! and CONTAIN! czyli steruj, chłódź i lokalizuj (skażenia). Na

tym opierają się specjalne systemy zabezpieczeń CANDU: Shutdown Systems I & II, Emergency Core Cooling, Containment (Dousing) itd. (Systemy wyłączenia I & II, Awaryjne Chłodzenie Rdzenia, Lokalizacja Awarii i Skażeń). Specjalne systemy bezpieczeństwa ulepszano w kolejnych modelach, w miarę zdobywania doświadczeń, także z awarii w elektrowniach jądrowych innego typu. Wszystko to zapewnia odpowiedni zapas bezpieczeństwa.

Zapasy bezpieczeństwa w elektrowniach CANDU były dyskutowane podczas trzeciego spotkania sprawozdawczego Międzynarodowej Konwencji d.s. Bezpieczeństwa Jądrowego w Wiedniu w 2005 roku. Porównano wypadki gwałtownego wzrostu reaktywności w różnych reaktorach (CANDU, PWR i BWR). Szczytowa entalpia paliwa podczas wypadku determinuje uszkodzenie paliwa w różnych typach reaktorów. W wyniku powyższych dyskusji zaproponowano na przyszłość metodologię analizy probabilistycznej BEAU (Best-Estimate and Analysis of Uncertainty), czyli uzyskania najlepszej oceny i analizy niepewności zakładającej rozrzut statystyczny parametrów fizycznych podczas wypadku, nie zaś, że wszystkie parametry będą jednocześnie posiadać najgorsze, możliwe wartości. Kanadyjska Komisja Bezpieczeństwa Jądrowego CNSC opracowała wskazówki w używaniu kryteriów deterministycznych i probabilistycznych RD-152.

Zapas bezpieczeństwa dla reaktora jądrowego określa się, jako odległość reaktywności szczytowej punktu, w którym nastąpiła awaria od obszaru szybkiej krytyczności (Prompt Criticality) oraz entalpii szczytowej od obszaru topienia się paliwa w rdzeniu (Fuel Melting Region Limit). Określenie i porównanie zapasu (marginesów) bezpieczeństwa ilustrować można wykresem bezwymiarowej szczytowej reaktywności (oznaczonej  $\beta$ ) na osi odciętych i bezwymiarowej szczytowej entalpii



**Rys. 1.** CANDU-6 przypadek wzrostu odniesienia LOCA bezwymiarowej szczytowej entalpii paliwa w porównaniu ze szczytową reaktywnością

**Fig. 1.** CANDU-6 large LOCA reference case non-dimensional peak fuel enthalpy versus peak reactivity

paliwa na osi rzędnych. Zapas (marginesy) bezpieczeństwa jest dostateczny, jeśli punkt wykresu odpowiadający wypadkowi leży dobrze poniżej poziomej granicy stopnienia paliwa i dobrze na lewo od pionowej granicy szybkiej krytyczności. Na lewo od tej granicy działają pręty wyłączania awaryjnego (Shut-Off Rods) lub pręty sterownicze w PWR-ach SCRAM („Safety Control Rod Axe Man”). [9].

Współczesne reaktory CANDU posiadają dwa szybkie (<2 sec) układy odstawiania (wyłączania awaryjnego) reaktora, całkowicie niezależne od siebie i od systemu regulacji mocy. Elementy każdego z tych dwóch systemów są fizycznie umiejscowione w innych obszarach rdzenia. Pręty odstawiania (awaryjnego wyłączania) reaktora nie mogą zostać wypchnięte, bo wchodzą w przestrzeń niskiego ciśnienia (poduszka z helu nad moderatorem utrzymywana jest pod ciśnieniem minimalnie wyższym od atmosferycznego). Układy bezpieczeństwa posiadają elementy pasywne wykorzystujące grawitację, sprężony gaz, ściśniętą sprężynę itd.

### Wysokie ciśnienie, utrata chłodziwa

Istnieje szereg paramentów, których odchylenie powoduje wyłączenie reaktora CANDU (Trip Parameters). Są one zależne od postulowanych awarii. Np. wyłączenie w wyniku wysokiego ciśnienia w pierwotnym obiegu chłodzenia może być spowodowane blokadą przepływu, utratą kontroli reaktywności, utratą kontroli w obszarze wysokiego ciśnienia, albo utratą wody obiegu wtórnego (wody kotłowej). Inne parametry wyłączeniowe to niskie ciśnienie w obiegu pierwotnym chłodzenia, niski poziom w zbiorniku ciśnieniowym (Pressurizer) układu pierwotnego, niski przepływ ciężkiej wody w pierwotnym obiegu chłodzenia, mała różnica ciśnień między kolektorami dopływowymi i odpływowymi reaktora i wreszcie zbyt wysokie wskazania w układzie pomiaru mocy neutronowej.

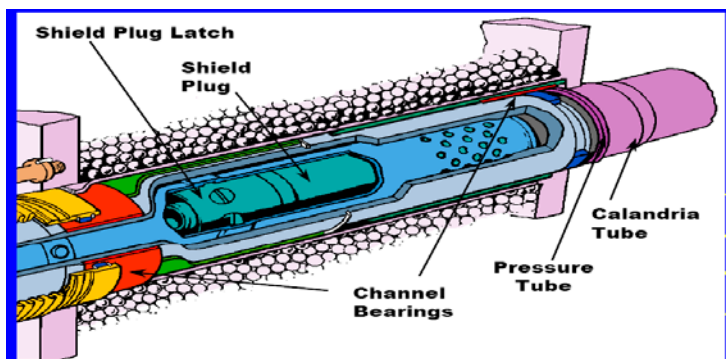
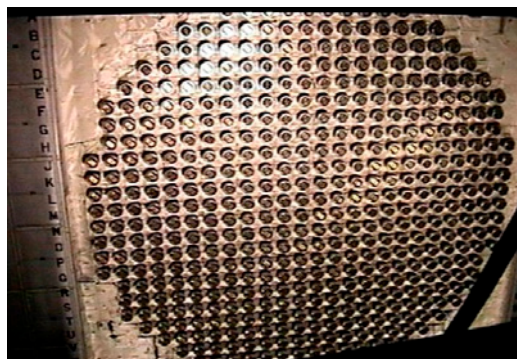
Jedną z najpoważniejszych awarii, jakiej może ulec każda elektrownia jądrowa niezależnie od typu, jest utrata chłodziwa paliwa jądrowego (Loss of Coolant Accident – LOCA). Reaktory CANDU posiadają kilkaset

poziomych kanałów paliwowych, w których rury ciśnieniowe (Pressure Tubes) utrzymują ciężką wodę obiegu pierwotnego pod ciśnieniem około 12 MPa. Są one otoczone rurami o większej średnicy, ograniczającymi przestrzeń ciężkowodnego moderatora (Calandria Tubes).

W NPD i w Douglas Point, pierwszych dwóch elektrowniach typu CANDU, przestrzeń pomiędzy rurami ciśnieniowymi i rurami niskociśnieniowej „beczki” Calandrii (Annulus Space) była otwarta i chłodzona powietrzem. Powodowało to produkcję Argonu 41 podczas ruchu reaktora i związane z tym wysokie pola promieniowania w systemach wentylacji. W nowszych elektrowniach przestrzeń międzyrurową zamknięto (Bellows) i wypełniono gazem, który przepływa przez higrometr. Zwiększona wilgotność świadczy o rozpoczynającym się minimalnym pęknięciu rury ciśnieniowej [Zircaloy-2, Zr-2.5% Nb]. Zanim nastąpi duże pęknięcie i utrata chłodziwa (Loss of Coolant Accident), reaktor będzie wyłączony, a uszkodzona rura będzie wymieniona podczas przestoju remontowego. To rozwiązanie nie tylko podnosi efektywność śledzenia integralności pierwotnego obiegu chłodzenia, ale eliminuje wysokie pola związane z Argonem 41 w przewodach wentylacyjnych. W Pickering A jako gaz międzyrurowy zastosowano azot, ale powodowało to powstawanie węgla C-14 i kwasu azotowego w przypadku zawilgocenia. Optymalnym gazem międzyrurowym okazał się dwutlenek węgla, który zastosowano w następnych modelach reaktorów CANDU.

W przypadku awarii, takiej jak różnego rozmiaru utrata chłodziwa (LOCA), kluczową rolę odgrywa system lokalizacji awarii i skażeń. Chroni on budynki przed nadmiernym wzrostem ciśnienia, a personel, ludność i środowisko przed rozprzestrzenianiem się skażeń radioaktywnych.

Warto zauważyć, że stosowane obecnie „pasywne” metody chłodzenia awaryjnego w nowych blokach PWR (np. AP1000) wykorzystujące grawitację i konwekcję, stosowano od samego początku w niektórych układach systemu CANDU. W pierwszej elektrowni ka-



Fot. 3. 480 kanałów reaktora w Darlington w budowie i rysunek przekroju końcówki kanału (na zdjęciu końcówki nie są jeszcze przymocowane) – (fot. za zgodą OPG 2007).

Photo 3. 480 fuel channels at Darlington NGS and a cross-section of End Fitting (in the picture not attached yet) – (courtesy of OPG 2007)



Rys. 2. Zachowywanie zapasów bezpieczeństwa – obrazek za zgodą OPG 2012

Fig. 2. Protecting Safe Operating Margins – picture courtesy of OPG 2012

nadyjskiej NPD NGS, w przypadku pęknięcia rury systemu pierwotnego (Loss of Coolant Accident – LOCA) powstającą parę szybko skropliłby wtrysk lekkiej wody ze zbiornika umieszczonego na zewnątrz budynku elektrowni. Było to konieczne, aby nie przekroczyć ciśnienia dopuszczalnego struktur betonowych. Woda płynęła do zraszaczy grawitacyjnie ze zbiornika, którego dolna część była zarezerwowana na awaryjne chłodzenie rdzenia. Dodatkowe chłodzenie powypadkowe uzyskać można było drogą konwekcji między reaktorem i wytwornicą pary (thermosyphoning).

W elektrowniach wieloblokowych takich, jak Darlington, zbiornik zraszaczy (Dousing Tank) umieszczono wewnątrz wieży próżniowej lokalizacji skażeń – Vacuum Building. Wieża ta wysysa powietrze z budynków reaktorów i korytarzy wymiany paliwa. Natomiast w elektrowniach jedno lub dwublokowych z blokami CANDU-6, system zraszania powypadkowego (Dousing System) jest zbliżony do oryginalnych rozwiązań z NPD. Obok Dousing (zraszania), częścią Containment System (układu lokalizacji awarii) był w NPD NGS tzw. Reactor Vault Containment Box-up (zamykanie klap wentylacyjnych na dopływie i odpływie powietrza z bunkra reaktora). Podobne awaryjne odcinanie zewnętrznych części układu wentylacji jest nadal stosowane w niektórych systemach współczesnych elektrowni CANDU.

Normalna praca reaktorów CANDU odbywa się w obrębie tzw. wieloboku (koperty) bezpiecznej eksploatacji SOE (Safe Operating Envelope). Oznacza to, że wszystkie parametry fizyczne muszą utrzymywać odpowiedni margines w stosunku do wartości uważanych za limit bezpiecznej eksploatacji. Te limity są ustalone poniżej limitów projektowych konstrukcji (Design Basis), które stanowią granicę SOE. Istnieją następnie marginesy od limitów zezwolenia na eksploatację (li-

mitów 'licencji eksploatacyjnej'), które nie mogą być przekraczane w żadnym wypadku. Jeśli miałyby zostać przekroczone, reaktor CANDU zostaje bezpiecznie odstawiony (wyłączony). Limity licencji operacyjnej leżą poniżej limitów analizy bezpieczeństwa, a te ostatnie poniżej granicy ostatecznej wytrzymałości systemu.

## 5. Przyszłość CANDU i nie tylko – wnioski

Przez najbliższe 40 lat bloki CANDU będą remontowane i eksploatowane, dostarczając bezpiecznie trochę mniej niż połowę zapotrzebowania energii w Prowincji Ontario. W Kanadzie politycy podjęli decyzję stopniowego odchodzenia od technologii PHWR (CANDU). Istnieje nadal rynek międzynarodowy np. Rumunia czy Argentyna gdzie prawdopodobne jest wybudowanie kilku nowych bloków CANDU 6 lub EC6. Te kraje mają pozytywne doświadczenie eksploatacyjne z PHWR. Własne paliwo – niewzbogacony uran kopalny – to dla nich wystarczająca zachęta, aby kontynuować rozwój elektrowni z blokami kanadyjskimi. W Indiach pracuje bardzo wiele klonów CANDU, a także pionowe reaktory ciężkowodne. Korea Południowa i Chiny nie są obecnie zainteresowane budową kolejnych reaktorów PHWR.

Nie tylko w Kanadzie utrwała się pogląd, że SMR-y są przyszłością energetyki jądrowej. Nowa koncepcja to energetyka zdecentralizowana z małymi reaktorami modułowymi niekoniecznie eksploatowanych przez energetykę zawodową. W skali światowej oznaczałoby to nie tylko odejście od PHWR, ale także od dużych bloków PWR i BWR. Czy SMR-y spełnią pokładane w nich oczekiwania będzie wiadomo za około 20 lat. Rozwój energetyki, nie tylko jądrowej, będzie zależał od sytuacji geopolitycznej. W wyniku sankcji zachodnich i odwetowych posunięć Rosji, samowystarczalność energetyczna stała się w 2022 r. sprawą pierwszoplanowej wagi. Wycofanie się z energetyki atomowej na rzecz gazowej (za zastoną wiatraków energetycznych) postawiło Niemcy w trudnej sytuacji.

*Dariusz Witold Kulczyński,  
były pracownik elektrowni jądrowej  
Ontario Kanada*

## Literatura:

- [1] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Olkiluoto-3-test-production-to-continue-until-Dece> data dostępu 31-08-2022
- [2] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Fresh-delay-to-Flamanville-blamed-on-impact-of-pan> data dostępu 31-08-2022
- [3] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Vogtle-3-approved-to-load-fuel> data dostępu 31-08-2022
- [4] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/UAE-completes-fuel-loading-at-Barakah-1> data dostępu 31-08-2022

- [5] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Canadian-SMR-to-offer-once-in-a-generation-economy-data> data dostępu 31-08-2022
- [6] <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/NuScale-Xcel-explore-partnership-for-SMR-operation> data dostępu 31-08-2022
- [7] [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/27/057/27057474.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/27/057/27057474.pdf); C5.2 *Issues Pertaining to Electrolytic Hydrogen Production Using Nuclear Power* by E. Jelinski (Ontario Hydro) and J. Stephenson (Ontario Hydro, Retired). Page 82; C5.3 *Nuclear Hydrogen – Co-generation and the Transitional Pathway to Sustainable*
- Development* by G.M. Gurbin (Integrated Energy Development Corp.) and K.H. Talbot (Ontario Hydro) page 83 - International Nuclear Congress, October 3-6,1993, Toronto, Ontario, Canada
- [8] A.J. Muzumdar and D.A. Meneley, "Large LOCA Margins in CANDU Reactors – an Overview of the COG Report", Proceedings of CNS 30th Annual Conference, Calgary, AB, 2009 May 31-June 3.
- [9] Half a century of safe CANDU, D.W. Kulczyński, 2<sup>nd</sup> International Nuclear Energy Congress, Politechnika Warszawska, 22-24 maja 2012



## RAPORT MAPY DROGOWEJ ODZWIERCIEDLA POSTĘPY POLSKO-AMERYKAŃSKIEJ WSPÓŁPRACY NUKLEARNEJ 13 WRZEŚNIA 2022

Stany Zjednoczone i Polska określiły szczegółową dwustronną mapę drogową budowy sześciu dużych reaktorów jądrowych z wykorzystaniem amerykańskiej technologii oraz ramy strategicznej współpracy w zakresie cywilnej energetyki jądrowej.

Raport *Koncepcyjny i Wykonawczy Cywilnej Współpracy Jądrowej* został przekazany polskiej Minister Klimatu i Środowiska Annie Moskwie w Warszawie przez USA za pośrednictwem Departamentu Energii (DOE) i Ambasadora USA w Polsce Marka Brzezińskiego oraz Prezydenta Westinghouse Polska Mirosława Kowalika oraz Dyrektora Generalnego Bechtel ds. energetyki jądrowej Ahmet Tokpinar.

Raport, który spełnia zobowiązanie wynikające z umowy międzyrządowej z 2020 r. w sprawie współpracy w dziedzinie energii jądrowej, odzwierciedla ponad 18 miesięcy intensywnej pracy i miliony dolarów finansowanych przez USA analiz i ocen, poinformowały oba kraje we wspólnym komunikacie prasowym. Potwierdzają go szczegółowe badania Westinghouse i Bechtel dotyczące możliwości spełnienia przez technologię AP1000 oczekiwań Programu Polskiej Energetyki Jądrowej oraz Polskich Elektrowni Jądrowych (PEJ), inwestora budowy elektrowni jądrowych w Polsce. Ostateczny dokument został zrecenzowany przez dwustronny komitet sterujący, któremu współprzewodniczył wice-minister Adam Guibourgé-Czetwertyński z polskiego Ministerstwa Klimatu i Środowiska oraz zastępca sekretarza Departamentu Energii Andrew Light.

„Raport jest ważnym krokiem w kierunku rozwoju silnego cywilnego przemysłu jądrowego w Polsce, który nie emituje dwutlenku węgla i będzie skutkował ko-



Fot. 1. Brzeziński i Moskwa na ceremonii przekazania raportu w Warszawie (fot.: Ministerstwo Klimatu i Środowiska)

lejnym europejskim źródłem energii wolnym od rosyjskich wpływów” – powiedziała amerykańska sekretarz ds. energii Jennifer Granholm.

Raport zostanie wzięty pod uwagę przez polski rząd przy podejmowaniu tej jesieni kluczowych decyzji technologicznych – powiedziała Moskwa. „Rozmieszczenie energetyki jądrowej w Polsce w istotny sposób przyczyni się do rozwoju społeczno-gospodarczego i tego, co ostatnio stało się kluczowe w związku z wybuchem agresji Rosji na Ukrainę – do zapewnienia bezpieczeństwa energetycznego” – dodała.

Polska planuje mieć energetykę jądrową od około 2033 r. w ramach zróżnicowanego portfela energetycznego, odsuwając ją od silnej zależności od węgla. PEJ wybrała lokalizację w Lubiatowie-Kopalinie jako preferowaną lokalizację dla pierwszego z sześciu dużych zakładów. Ponadto kilka energochłonnych przedsiębiorstw przemysłowych pracuje nad unowocześnieniem zakładów w celu włączenia małych reaktorów modułowych, a reaktory wysokotemperaturowe do przemysłowej produkcji ciepła są od 2016 r. uwzględnione w rządowym projekcie strategii rozwoju.

Opracowane i napisane przez World Nuclear News,  
przygotował: Stanisław Latek,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa





## XIX ZJAZD PTBR



W dniach 22-24 września 2022 r. w Gliwicach odbył się XIX Zjazd Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych im. Marii Skłodowskiej-Curie (PTBR). Zjazd połączony był z konferencją naukową w której mogli wziąć udział wszyscy zainteresowani. Organizatorem Zjazdu i konferencji naukowej był Śląski Oddział PTBR. Program naukowy obejmował najnowsze postępy w radioterapii, radiobiologii, chemii radiacyjnej i fotochemii, higienie radiacyjnej (ochrona radiologiczna, promieniowanie jonizujące w środowisku) oraz w bioelektromagnetyzmie i ochronie przed promieniowaniem niejonizującym.

Przygotowano interesujące tematy wystąpień, które były podstawą do ożywionych dyskusji.

Komitet organizacyjny po długim czasie pewnego rodzaju uspienia związanego z epidemią Covid-19, ma nadzieję, że Zjazd stanie się nie tylko owocnym i twórczym spotkaniem naukowym w gronie przyjaciół i znajomych, ale także pozwoli poznać kulturę, zwyczaje i gościnność Górnego Śląska.

Komitet Naukowy Zjazdu zakwalifikował prace do odpowiednich form prezentacji i poinformował o tym autorów. Streszczenia zostały opublikowane w materiałach konferencyjnych.

Przewodniczącą Komitetu Organizacyjnego była dr hab. n. med. Dorota Gabryś, Wiceprzewodniczącym dr prof. n. prof. Tomasz Rutkowski, prof. NIO, a Sekretarzem dr hab. n. med. Dorota Słonina, prof. NIO. Członkowie Komitetu Organizacyjnego to: dr Jacek Rogoński, dr Ewa Nowosielska i dr Krzysztof Pachocki.

Przewodniczącym Komitetu Naukowego był dr hab. n. med. Tomasz Rutkowski, prof. NIO. Członkowie Komitetu Naukowego to: dr hab. Wiesława Barszczewska, prof. UPH, dr hab. n. med. Dorota Gabryś, dr hab. Janina Kopyra, prof. UPH, prof. dr hab. Marcin Kruszewski, prof. dr hab. Anna Lankoff, dr Krzysztof Pachocki, dr hab. n. med. Dorota Słonina, prof. NIO, prof. dr hab. n. med. Krzysztof Składowski, prof. dr hab. inż. Piotr Ulański, prof. dr hab. inż. Mariusz Wójcik i prezes PTBR prof. dr hab. Marek Zmyślony.

Patronat medialny nad wydarzeniem objął kwartalnik Postępy Techniki Jądrowej.

Szczegółowe informacje na temat konferencji zamieścimy w następnym numerze.

*Sylwester Sommer,  
Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*



## „ANNUAL REPORT”

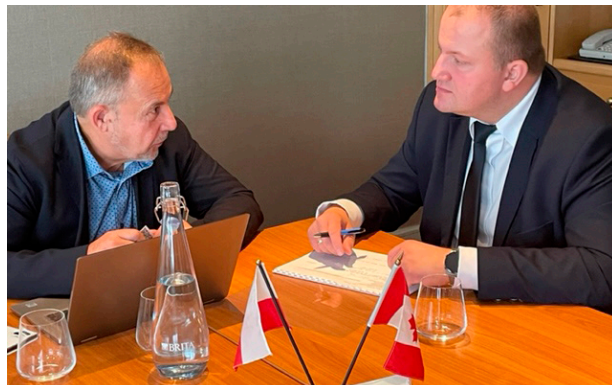
Od 1992 r. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej wydaje „Annual Report”. W maju br. ukazał się kolejny, trzydziesty już, „Annual”. Tegoroczny „Annual” zawiera informacje dotyczące działalności Instytutu w 2021 r. Poszczególne centra i laboratoria, wchodzące w skład IChTJ, przedstawiły wynik prowadzonych w 2021 r. badań. Uzupełnienie stanowią wykazy m.in. publikacji pracowników, kontynuowanych i pozyskanych nowych projektów i kontraktów, otrzymanych nagród, a także informacje dotyczące udziału pracowników w pracach organizacji naukowych i technicznych, rad naukowych i komitetów redakcyjnych. Zaprezentowano też zawartość zeszytów rocznych numerów czasopism – Nukleoniki i Postępów Techniki Jądrowej, wydawanych przez Instytut. Annual jest dostępny na stronie internetowej pod adresem <http://www.ichtj.waw.pl/ichtj/publ/annual/annual21.htm>



*Ewa Godlewska,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*

## OCNI TRADE MISSION TO POLAND

W dniach 20 -21 września 2022 r. w Warszawie odbyło się Polsko-Kanadyjskie Forum Przemysłu Jądrowego. Organizatorami wydarzenia były: Departament Energii Jądrowej Ministerstwa Klimatu i Środowiska, Ambasada Kanady w Polsce oraz Kanadyjska Izba Przemysłu Jądrowego OCNI (The Organization of Canadian Nuclear Industries). Pierwszy dzień poświęcono na prezentacje tematyczne dotyczące rozwoju energetyki jądrowej w Kanadzie, stanu przygotowania polskiego projektu oraz możliwości współpracy w sektorze jądrowym pomiędzy przedsiębiorstwami obu krajów. Prelekcji towarzyszyły dyskusje w gronie polskich i kanadyjskich przedsiębiorców. Warto podkreślić, że wielu gości z Kanady mówiło doskonale po polsku. W środę 21 września br. drugiego dnia zorganizowano spotkania B2B pomiędzy polskimi i kanadyjskimi firmami. Sektor jądrowy ze strony kanadyjskiej reprezentowany był przez: OCNI, CNA (Canadian Nuclear Association), DCS Controls, Gen-



Fot. 1. Spotkania B2B – Mark Zimny z Promation Nuclear rozmawia z Dariuszem Dekarzem z Energopomiaru Gliwice (fot. W. Głuszewski)

eral Electric-Hitachi Canada, Kinectrics, L3Harris, Laurentis, Liburdi, Promation, Westinghouse Canada.

W Kanadzie powstaje pierwszy na świecie mały reaktor jądrowy BWRX-300. SMR-y to reaktory o mocy poniżej 300 MW, czyli ponad 4 razy mniejszej niż moc reaktorów operujących w obecnie budowanych elektrowniach jądrowych. W Polsce reaktory tego typu planuje budować Synthos Green Energy wspólnie z PKN ORLEN i innymi partnerami. Oznacza to, że pierwsza inwestycja w Polsce będzie kolejnym projektem tego typu (NOKA – Next of Kind). Dzięki temu będzie można wykorzystać kanadyjskie doświadczenia w zakresie przygotowania procesu inwestycyjnego, licencjonowania, budowy i eksploatacji SMR.

W rozmowach B2B miałem okazję porozmawiać z Paulem Buczkowskim przedstawicielem firmy Shawcor, która produkuje od 30 lat między innymi kable i przewody dla energetyki jądrowej. Produkty klasy jądrowej obejmują niestandardowe wyroby kompozytowe oraz przewody sterujące i zasilające. Kable tej firmy zostały zainstalowane w wielu elektrowniach jądrowych na całym świecie. Jeden z kluczowych klientów opracował robota, który zapuszcza się do wnętrza rur rdzenia reaktora jądrowego i elektronicznie sprawdza każdy zespół ciśnieniowy oraz dokonuje kluczowych napraw. Robot wymaga przewodów które bezpiecznie i niezawodnie dostarczą energię elektryczną i hydrauliczną, a także przekażą wrażliwe dane z czujników. Shawcor zaprojektował wyrafinowany przewód, który spełnił wszystkie te ekstremalne wymagania. Według producenta izolacje kabli wytrzymują dawki rzędu 2,5 MGy oraz ciężkie mechaniczne cykle pracy. W produkcji kabli podobnie jak w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej wykorzystywane są techniki radiacyjnej modyfikacji izolacji za pomocą wiązek elektronów.

Na koniec można dodać, że Polskie Towarzystwo Nukleoniczne ma podpisaną umowę o współpracy z Kanadyjskim Towarzystwem Nukleonycznym.

Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



## KGHM POLSKA MIEDŹ S.A. NA GIEŁDZIE PAPIERÓW WARTOŚCIOWYCH

Na Giełdzie Papierów Wartościowych w Warszawie odbyła się konferencja, na której KGHM Polska Miedź S.A. przedstawiła wyniki finansowe i plany na najbliższą przyszłość. Miedziowy gigant konsekwentnie realizuje program rozwoju energetyki, zmniejszający udział energii konwencjonalnej i zwiększający niezależność energetyczną spółki. Dotyczy to również planów inwestycyjnych związanych m.in. z transformacją. Warto dodać, że KGHM to drugi największy w Polsce przemysłowy odbiorca energii elektrycznej, z rocznym zużyciem około 3 TWh, co wymaga niemal stałego dostępu do źródeł o mocy 400 MW. KGHM, jako pierwsza firma w Polsce, złożyła do Państwowej Agencji Atomistyki wniosek o ocenę technologii dotyczącej wdrożenia małych reaktorów modułowych (SMR) w kraju. Złożenie wniosku o certyfikowanie projektu oznacza upublicznienie znacznej części dokumentacji technicznej co umożliwi prowadzenie niezależnych badań naukowych. Dzięki temu bezpieczeństwo projektów certyfikowanych w USA i przez innych renomowanych regulatorów jest znacznie lepiej zbadane, jest pewniejsze. Prace naukowe bazujące na publicznie dostępnych danych o projekcie NuScale prowadzono również w Polsce, w Akademii Górniczo-Hutniczej na Wydziale Energetyki i Paliw i zaowocowały one wypromowaniem dwóch doktorów nauk technicznych. Dzięki temu KGHM mógł wykorzystać bazę ekspercką co umożliwiło sprawne przygotowanie pierwszych dokumentów przed licencyjnych i złożenie w PAA w dniu 8 lipca 2022 r. wniosku o wydanie ogólnej opinii w zakresie planowanych rozwiązań technicznych i organizacyjnych. W najbliższym czasie planowane jest powstanie grupy konsultacyjnej, która ma wysądować opinie inwestorów na temat projektu jądrowego. Pierwsza elektrownia NuScale budowana dla KGHM ma mieć sześć reaktorów, co tworzy jeden blok energetyczny o mocy 462 megawatów. Prof. Ludwik Pieńkowski jest zdania, że jeżeli ta inwestycja okaże się sukcesem, zainteresowanych jego powtórzeniem będzie bardzo wielu, a doświadczenia zdobyte przez KGHM przy budowie pierwszej takiej elektrowni przyniosą korzyść Polsce.

Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



## TAURON INWESTUJE W FOTOWOLTAICZNE FARMY

Tauron, polskie przedsiębiorstwo grupujące spółki z branży energetycznej zorganizowało w Mysłowicach konferencję prasową w trakcie której uroczyście wbito przysłowiowe pierwsze łopaty pod budowę największej w Polsce fotowoltaicznej farmy. Elektrownia o łącznej mocy 100 MW powstaje na zrekultywowanym składowisku odpadów paleniskowych i zacznie działać w drugiej połowie 2023 r. Budowę elektrowni słonecznej zaplanowano w dwóch etapach. W pierwszym do eksploatacji oddanych zostanie 37 MW w kolejnym 60 MW. Pierwszy etap zostanie dofinansowany z Programu Operacyjnego Infrastruktura i Środowisko. Rozpoczęte oficjalnie 14 lipca prace budowlane zakładają zainstalowanie 94 tys. paneli fotowoltaicznych. Ich

łączna powierzchnia wyniesie 16 ha, co odpowiada 22 boiskom do piłki nożnej. Farma w ciągu roku wyprodukuje 39 tys. MWh energii. Odpowiada to rocznym potrzebom 16 tys. gospodarstw domowych, czyli zaopatrzeniu na energię 50-tysięcznego miasta. Produkcja energii ze słońca ograniczy emisję CO<sub>2</sub> o 30 tys. ton. Jest to czwarta instalacja fotowoltaiczna budowana przez Tauron. Pierwsza o mocy 5 MW powstała w Jaworznie w roku 2020. Kolejne to Choszczno I (6 MW) i Choszczno II (8 MW). Fotowoltaikę zalicza się do tzw. zielonych energii, chociaż w istocie przekształca ona energię termojądrową powstałą około 30 milionów lat temu w jądrze Słońca. Cykl produkcyjny jest, więc bardzo długi, mimo że ostatni etap przesyłu światła na Ziemię trwa tylko 8 minut i 19 sekund.

Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



Fot. 1. Grzegorz Puda, Minister Funduszy i Polityki Regionalnej; Jarosław Wieczorek, Wojewoda Śląski; Dariusz Wójtowicz, Prezydent Mysłowic; Artur Warzocha, Wiceprezes Tauron



PUNKT WIDZENIA:  
BILBAO Y LEÓN I GROSSI  
O MOŻLIWOŚCIACH  
I WYZWANIACH  
ZWIĄZANYCH Z ENERGIĄ  
JĄDROWĄ  
09 WRZEŚNIA 2022

**Dyrektor generalny Światowego Stowarzyszenia Jądrowego Sama Bilbao y León i dyrektor generalny Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) Rafael Mariano Grossi twierdzą w swoich przemówieniach na Światowym Sympozjum Jądrowym 2022,**

**że energia jądrowa stanie w obliczu poważnego wyzwania energetycznego. Oto transkrypcje.**

### Sama Bilbao y León:

„Czekałam prawie dwa lata na możliwość zobaczenia was wszystkich osobiście tutaj, w Londynie, na Światowym Sympozjum Jądrowym. I sporo się zmieniło odkąd przejęłam stery Światowego Stowarzyszenia Jądrowego.

Od tego czasu świat zdał sobie sprawę, że zmiany klimatyczne są nie tylko realne, ale są obecne. I pomimo ogromnych inwestycji w odnawialne źródła energii, procent energii elektrycznej o niskiej emisji dwutlenku węgla jest dziś prawie taki sam jak na początku XXI wieku.

Świat pamiętał o znaczeniu bezpieczeństwa energetycznego i niezależności energetycznej oraz o tym,

jak ważny jest dostęp do obfitej energii przez całą dobę, niezależnie od nacisków geopolitycznych, pogody czy pory roku.

Świat uznał, że przejście na czystą energię nie może pozostawić nikogo w tyle. W miarę postępów w dekarbonizacji globalnych systemów energetycznych musimy zapewnić każdemu człowiekowi na ziemi dostęp do obfitej czystej, przystępnej cenowo energii, aby mógł osiągnąć jakość życia, jaką cieszymy się w krajach o wysokich dochodach. Zdrowie, edukacja, świeża i pożywna żywność, czysta woda, czyste powietrze, satysfakcjonująca praca na rzecz społeczeństwa, dostęp do wypoczynku i rozrywki.

Świat ponownie przygląda się energetyce jądrowej.

Obserwujemy radykalną zmianę zarówno polityki, jak i opinii publicznej w kierunku energii jądrowej na całym świecie, a to stwarza ogromne możliwości dla globalnego przemysłu jądrowego.

Widzimy, jak kraje odwracają swoje plany trwałe wyłączenia reaktorów jądrowych. Widzimy plany przedłużenia żywotności istniejącej floty tak długo, jak to możliwe. Widzimy, jak kraje, istniejące kraje nuklearne i nowicjusze uważają energię jądrową za kluczową część swojego koszyka energetycznego, aby poradzić sobie z zerem emisji CO<sub>2</sub> netto.

Wspaniałą wiadomością jest to, że energia jądrowa jest jedną z niewielu technologii, które mogą jednocześnie wytwarzać niskoemisyjną energię elektryczną i ciepło, 24 godziny na dobę, 7 dni w tygodniu, przy każdej pogodzie i o każdej porze roku, co może zmienić zasady dekarbonizacji całej gospodarki w tym inne trudne do złagodzenia sektory poza energią elektryczną, takie jak procesy przemysłowe, ogrzewanie i chłodzenie budynków, transport morski, wytwarzanie wodoru lub produkcję świeżej wody.

Ambitne, ale realistyczne scenariusze wskazują, że moc jądrowa będzie musiała wzrosnąć czterokrotnie do 2050 r., jeśli mamy osiągnąć cel 1,5 stopnia. Oznacza to utrzymanie istniejącej energetyki jądrowej i budowę nowej. Reaktory duże, małe i mikro. Reaktory tradycy-

ne i reaktory zaawansowane. Do produkcji energii elektrycznej i zastosowań nieelektrycznych.

Aby ta wizja stała się rzeczywistością, jest kilka rzeczy, które muszą się wydarzyć i wszystkie zależą od nas. Aby ta wizja mogła się urzeczywistnić, my, globalny przemysł jądrowy, musimy wziąć przyszłość w swoje ręce.

Trzeba usprawnić ramy licencjonowania i regulacji, które umożliwiają optymalne wdrożenie technologii jądrowej na poziomie globalnym. Podczas gdy krajowe organy regulacyjne zachowują swoją suwerenność, istnieją procesy umożliwiające im współpracę i budowanie wzajemnej pracy. Przechodzimy od niekończącej się serii pierwszych w swoim rodzaju projektów, do wydajnej serii n-tego rodzaju projektów.

Solidne łańcuchy dostaw, moce produkcyjne i know-how zostały przywrócone na poziomie globalnym. Te możliwości pozwalają branży realizować projekty nuklearne na czas i w ramach budżetu za każdym razem.

Branża jest w stanie przyciągać, zatrzymywać i rozwijać najlepsze i najbardziej zróżnicowane talenty, aby wspierać ten wzrost na poziomie globalnym.

Energia jądrowa uzyskuje dostęp do przystępnego finansowania. Wprowadzane są innowacyjne ramy finansowe i umowne, które odpowiednio alokują ryzyko finansowe i zachęcają do realizacji projektów. Energia jądrowa jest uwzględniona w programach zrównoważonego finansowania i finansowania ESG (ang. Environmental, Social and Corporate Governance) na poziomie globalnym.

Musimy inwestować w siebie, tworząc infrastrukturę ludzką, fizyczną, handlową i instytucjonalną, która pozwoli światowemu sektorowi jądrowemu naprawdę szybko rozwinąć się, aby sprostać pilnym i masowym potrzebom w zakresie dekarbonizacji. Naprawdę nie mamy czasu do stracenia.

Bardziej niż kiedykolwiek konieczna jest współpraca globalnego przemysłu jądrowego, wspólne przeglądanie horyzontu w celu zidentyfikowania wyzwań i możliwości oraz wspólnej pracy nad ich rozwiązywaniem.

World Nuclear Association jest dumne z bycia międzynarodową organizacją, która skupia światowy przemysł jądrowy, cały jądrowy cykl paliwowy i naprawdę wszystkie kontynenty. Z niecierpliwością czekamy na dalsze łączenie i reprezentowanie branży oraz bycie myślącym liderem, który wprowadza energię jądrową do globalnej debaty na temat energii.

Światowy sektor jądrowy znajduje się w kluczowym momencie. Przyszłość energetyki jądrowej nie wyglądała jaśniej od wielu lat, ale to od nas zależy, czy wykorzystamy obecny impet i jak najlepiej wykorzystamy tę szansę, aby zapewnić korzyści pływ-



Fot.1. Światowe Sympozjum Jądrowe 2022 odbyło się w Londynie w dniach 8 i 9 września (fot. WNA)

naące z energetyki jądrowej na skalę i z szybkością, jakiej potrzebuje świat.

Na osiągnięcie zera netto mamy mniej niż 30 lat. Energia jądrowa oferuje doskonałą okazję do zbudowania czystszej, bardziej sprawiedliwego świata, w którym każdy ma dostęp do czystej, obfitej i przystępnej cenowo energii oraz wysokiej jakości życia.

Na tym Światowym Sympozjum Jądrowym 2022 wspólnie zbadamy te wyzwania i wytyczymy drogi do wykorzystania tych możliwości.

Nadszedł czas, aby przemysł jądrowy podjął wyzwania energetyczne. Nie mamy czasu do stracenia. I możemy to zrobić”.

### Rafael Mariano Grossi

„Jesteśmy w decydującym momencie dla energii jądrowej. Co ważniejsze, świat znajduje się w kluczowym momencie przejścia do bardziej zrównoważonej, bezpiecznej i stabilnej przyszłości energetycznej. Kierowane zmianami klimatycznymi i kryzysem energetycznym rządy na całym świecie ponownie otwierają swoje portfele na rzecz energetyki jądrowej. Każdy w dziedzinie jądrowej, czy to przemysł, organy regulacyjne czy MAEA muszą być gotowi do odegrania swojej roli.

Będziemy musieli stawić czoła kilku wyzwaniom. Zacznę od najpilniejszego, groźby awarii w elektrowni atomowej na Ukrainie w Zaporozżu. Zaledwie kilka dni temu kierowałem zespołem ekspertów MAEA w zakresie bezpieczeństwa, ochrony i zabezpieczeń dla tego miejsca. Zwiedziliśmy kluczowe obszary i ustanowiliśmy tam stałą obecność MAEA.

Robię wszystko, co w mojej mocy, aby zmniejszyć ryzyko wypadku w Zaporozżu, ponieważ może to stanowić wielkie zagrożenie dla życia i środków do życia ludzi w zakładzie i społeczności wokół niego. Wypadek miałby również mroźny wpływ na akceptację energii jądrowej przez ludzi. A to byłoby bardzo niefortunne, ponieważ osłabienie przyszłości drugiego co do wielkości, niskoemisyjnego źródła energii na świecie spowodowałoby cierpienie o wiele więcej ludzi żyjących na całym świecie. Wzrost gospodarczy stałby się bardziej napięty. Zanieczyszczenie będzie nadal zabijać miliony ludzi każdego roku, a katastrofalne skutki ocieplenia naszej planety będą coraz większe na wszystkich kontynentach.

Chociaż w Zaporozżu robimy wszystko, co w naszej mocy, nalegam, aby wasze uzasadnione obawy dotyczące sytuacji na Ukrainie nie odciągnęły was od ważnej roli, jaką jest zapewnienie spełnienia obietnicy rozwijania energii jądrowej, ponieważ ludzie na was liczą. Sondaże opinii publicznej, od Azji Wschodniej po Europę Środkową, w krajach posiadających programy energetyki jądrowej i bez takich programów, pokazują, że coraz więcej zwykłych ludzi pokłada zaufanie w energetyce jądrowej.

Niezbędne jest, abyśmy aktywnie reagowali na wyzwania sektora, takie jak na przykład harmonizacja przepisów i standaryzacja. Od lat SMR (małe reaktory modułowe) są technologią jutra, ale muszą przejść od rozwoju do bezpiecznego wdrażania, aby na czas zmienić branżę i kraje, które z niecierpliwością na nie czekają.

Wiem, że wielu z was należy do NHSI (Nuclear Harmonization Standardization Initiative), inicjatywy, którą uruchomiłem w tym roku, aby pomóc w realizacji tego celu. Spotkałem się z niektórymi z was w Wiedniu w zeszłym tygodniu. Podwajamy więc nasze wysiłki w projektowaniu i wdrażaniu znormalizowanych i zharmonizowanych wyników. Oznacza to wykorzystanie każdej okazji do współpracy i pracy nad tym, co najważniejsze.

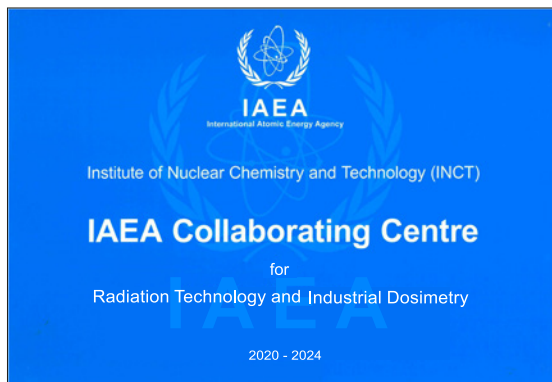
Oznacza to podkreślanie i ustalanie priorytetów naszych wspólnych celów. Musimy nadal pracować nad kwestiami, które są zrozumiałe dla rządów i opinii publicznej. Kwestie takie jak, oczywiście, bezpieczeństwo i odpady nuklearne. Ale żeby to zrobić, musimy zaangażować naszych interesariuszy, być uczciwi i otwarci, ponieważ ludzie mają wybór, politycy mają wyborców do obsługi, pożyczkodawcy mają inwestorów do spłaty, a ubezpieczyciele muszą zarządzać ryzykiem. Ale bez zaufania niewiele zdołamy osiągnąć. Zwłaszcza tutaj w Europie historyczny budżet i przekroczenie czasu to spuścizna, która wpływa na sposób myślenia ludzi o energii jądrowej.

Dzisiejsze branże na całym świecie stoją w obliczu wyzwań związanych z łańcuchem dostaw, a skutki inflacji kosztów i sektor jądrowy nie różnią się. Te przeciwności wymagają innowacyjnych reakcji. Starannego planowania i wysokiego stopnia realizmu. Na całym świecie MAEA pomaga krajom kłaść fundamenty pod udany program energii jądrowej, pomagając im budować instytucje, które stawiają bezpieczeństwo i ochronę na pierwszym miejscu. Istnieją dźwignie, które przemysł może pociągnąć, aby wesprzeć MAEA, pomagając nam wypełnić naszą misję atomów na rzecz pokoju i rozwoju. Wspierać przejście świata do bardziej zrównoważonej przyszłości energetycznej. Więc pracujmy razem. Przed nami kilka ekscytujących możliwości, w tym konferencja ministerialna ds. energetyki MAEA w Stanach Zjednoczonych w październiku i COP27 w Egipcie kilka tygodni później. Musimy wykorzystać ten moment, te możliwości. Coraz więcej ludzi chce i potrzebuje energii jądrowej, będącej częścią rozwiązania największych problemów świata.

To od nas zależy, czy tak się stanie”.

*Opracowane i napisane przez World Nuclear News,  
przygotował Stanisław Latek,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*

## WRĘCZENIE INSTYTUTOWI CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ TABLICY COLLABORATING CENTRES IAEA



Fot. 1. Tablica wręczona dyrektorowi IChTJ (fot. Krzysztof Krukowski)

W dniu 24 sierpnia br. Pani Najat Mokhtar, Deputy Director General and Head of the Department of Nuclear Sciences and Applications of IAEA, wręczyła Dyrektorowi IChTJ, tablicę, jaką otrzymują Collaborating Centres IAEA. Instytut został powołany do pełnienia tej funkcji w roku 2010. Nominacja jest przedłużana co 5 lat, za zgodą rządu kraju, w którym działa dany instytut. Obecna nominacja obejmuje lata 2020-24. Opóźnienie uroczystości jej przekazania wynikało z obostrzeń pandemicznych. W dziedzinie technologii radiacyjnych podobną funkcję jak IChTJ pełni w sumie 9 jednostek z różnych kontynentów.

prof. Andrzej G. Chmielewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa

## WYSTAWA NA KONFERENCJI INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF RADIATION SCIENCE AND TECHNOLOGY POD NAZWĄ ICARST-2022.

Między 22 a 26 sierpnia 2022 r. na terenie Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu odbyła się druga edycja konferencji International Conference on Applications of Radiation Science and Technology pod nazwą ICARST-2022. Konferencja ta oprócz znaczącego wydzwiku naukowego w postaci szeregu wystąpień międzynarodowej kadry naukowej zajmującej się technologiami radiacyjnymi umożliwiła również obejrzenie szeregu tematycznych posterów oraz zapoznanie się z ofertą wielu firm, uczelni czy instytutów, których stoiska wystawiennicze można było zwiedzać w trakcie trwania wydarzenia. Wśród wystawców obecny był także Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, którego wystawa cieszyła się dużym powodzeniem wśród uczestników konferencji. Prezentujący Pan Krzysztof Dąbrowski w interesujący oraz przystępny sposób opowiadał o działalności IChTJ, o tematyce badawczej oraz ofercie komercyjnej skierowanej



Fot. 1. Stanowisko wystawiennicze IChTJ (fot. Krzysztof Dąbrowski)



Fot. 2. Na zdjęciu osoby z IChTJ obecne na Konferencji ICARST 2022. Od lewej: Dagmara Chmielewska-Smietanko, Tomasz Smoliński, Krystyna Cieśla, Andrzej Chmielewski, Marcin Sudlitz, Marta Walo, Marcin Rogowski, Magdalena Rzepna, Krzysztof Dąbrowski

zarówno do firm jak i instytutów oraz uczelni. Dzięki dostępności szeregu materiałów marketingowych w języku angielskim uczestnicy konferencji mogli szerzej zapoznać się z interesującą ich tematyką oraz nawiązać potencjalne kontakty naukowo-biznesowe z przedstawicielami Instytutu. Materiały dostępne na stanowisku dotyczyły m.in.: komercyjnej działalności stacji sterylizacji produktów medycznych, laboratorium identyfikacji napromieniowanej żywności, metody wykrywania nieszczelności w rurociągach, sterylizacji książek i zabytków z wykorzystaniem promieniowania jonizującego, oczyszczania gazów spalinowych z okretowych silników Diesla z użyciem akceleratorów elektronów, pomiarów dozymetrycznych prowadzonych przez Laboratorium Pomiarów Dawek Technologicznych, Biogazowni budowanej we współpracy z IChTJ, radiofarmaceutyków tworzonych w Instytucie i wielu innych.



Fot. 3. Od lewej: Robert Edgecock, Dagmara Chmielewska-Śmietanko, Andrea Sagatova, Andrzej Chmielewski

Tematyka prezentowana na stanowisku znakomicie wpisywała się w konferencję ICARST-2022 oraz nowe trendy badawcze prezentowane przez międzynarodowe grono badawcze. Na odwiedzających stanowisko czekały także, oprócz ulotek, ciekawe gadzety.

Marcin Sudlitz,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



Fot. 4. Statuetka przyznana przez IAEA naszemu Instytutowi jako jednemu z wystawców

## POSIEDZENIE KOMITETU PROBLEMÓW ENERGETYKI PAN W INSTYTUCIE CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ

29 czerwca 2022 r. w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej odbyło się w formule hybrydowej otwarte plenarne posiedzenie Komitetu Problemów Energetyki przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk poświęcone energetyce jądrowej w Polsce. Wprowadzenie do konferencji wygłosił prof. Janusz Lewandowski, Przewodniczący Komitetu Problemów Energetyki PAN. Gospodarzem spotkania był Dyrektor IChTJ prof. Andrzej Chmielewski. Na wstępie przedstawicielka Ministerstwa Klimatu i Środowiska Aleksandra Kowalska wygłosiła wykład na temat „Programu polskiej energetyki jądrowej”. W kolejnym wystąpieniu Paweł Domitr przedstawiciel Państwowej Agencji Atomistyki mówił o roli Państwowej Agencji Atomistyki we wdrażaniu Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. Temat budowy zeroemisyjnego i bezpiecznego Krajowego Systemu z elektrowniami jądrowymi zreferował prof. Bolesław Zaporowski. Po przerwie prof. Jan Składzień i dr Tomasz Bury przybliżyli zagadnienia



Fot. 1. Piotr Domitr, Państwowa Agencja Atomistyki



Fot. 2. Prof. Jan Składzień, Politechnika Śląska



Fot. 3. Prof. Janusz Lewandowski z Instytutu Techniki Ciepłej PW z gospodarzem spotkania dyrektorem Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej prof. Andrzejem Chmielewskim



Fot. 4. Prof. Janusz Lewandowski podczas swojego wystąpienia oraz dr Elżbieta Mreńca, Wydział Prawa i Administracji Wyższej Szkoły Finansów i Zarządzania w Warszawie



Fot. 5. Aleksandra Kowalska, Ministerstwo Klimatu i Środowiska



Fot. 6. Dr inż. Tomasz Bury, Politechnika Śląska

perspektyw energetyki jądrowej w Polsce w kontekście ochrony środowiska. Część wykładową zamknął wykład Elżbiety Mreńca zatytułowany „Inspirująca rola środowiska naukowego w inicjowaniu prawodawstwa”. Następnie odbyła się dyskusja z udziałem osób, które osobiście przybyły na spotkanie oraz internautów, którzy śledzili spotkanie na komputerach. Wnioski z debaty zostały przedstawiane w pisemnym stanowisku Komitetu Problemów Energetyki przy Prezydium Polskiej Akademii

Nauk w sprawie rozwoju energetyki jądrowej w Polsce, które publikujemy w tym numerze PTJ. Zwróciliśmy się również do Komitetu Problemów Energetyki PAN z prośbą o obszerne artykuły na temat energetyki jądrowej. Powinny się one ukazać w kolejnych numerach PTJ. Relację z konferencji uzupełnia reportaż fotograficzny.

Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,





STANOWISKO  
KOMITETU  
PROBLEMÓW  
ENERGETYKI  
PRZY PREZYDIUM POLSKIEJ  
AKADEMII NAUK W SPRAWIE  
ROZWOJU ENERGETYKI  
JĄDROWEJ W POLSCE PRZYJĘTE  
NA PLENARNYM POSIEDZENIU  
W DNIU 29 CZERWCA 2022  
ROKU

Komitet Problemów Energetyki przy Prezydium Polskiej Akademii (PAN), nawiązując do przyjętych przez Rząd Rzeczypospolitej Polskiej (RP) Polityki energetycznej Polski do 2040 r. (2 lutego 2021 r.) oraz aktualizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (2 października 2020 r.), na plenarnym posiedzeniu w dniu 29 czerwca 2022 r. podjął problematykę rozwoju energetyki jądrowej w Polsce. Członkowie Komitetu Problemów Energetyki PAN po wysłuchaniu referatów:

- przedstawicielki Ministerstwa Klimatu i Środowiska na temat „Program polskiej energetyki jądrowej”,
- przedstawiciela Państwowej Agencji Atomistyki na temat „Rola Państwowej Agencji Atomistyki we wdrażaniu Programu polskiej energetyki jądrowej”
- członków Komitetu Problemów Energetyki PAN na temat „Budowa bezpiecznego zeroemisyjnego i efektywnego ekonomicznie Krajowego Systemu Elektroenergetycznego z elektrowniami jądrowymi” oraz „Perspektywy energetyki jądrowej w Polsce a środowisko”

i dyskusji, uznając wielką wagę transformacji energetycznej w Polsce dla przyszłego bezpieczeństwa energetycznego Kraju, postanowili przyjąć niniejsze stanowisko i przekazać je Władzom RP.

Konieczność wdrożenia energetyki jądrowej w Polsce, obok rozwoju technologii wytwarzania energii elektrycznej wykorzystujących odnawialne źródła energii (OZE), w tym szczególnie lądowych i morskich elektrowni wiatrowych oraz elektrowni fotowoltaicznych, a także kogeneracyjnych źródeł opalanych biomasą i biogazem, wynika przede wszystkim z potrzeby zapewnienia w długim horyzoncie czasowym wystarczalności (bezpieczeństwa pracy) Krajowego Systemu Elektroenergetycznego (KSE), który musi zapewniać niezawodną dostawę energii elektrycznej dla przemysłu, transportu, usług i ludności, a zatem zapewniać bezpieczne funkcjonowanie wszystkich struktur Państwa.

Za bezpieczeństwo pracy KSE odpowiadają przede wszystkim jednostki wytwórcze centralnie dysponowane (JWCD). Obecnie są nimi przede wszystkim 74 parowe bloki energetyczne opalane węglem kamiennym i brunatnym o łącznej mocy ok. 24 GW. Ich dotychczasowy czas pracy w KSE, i w związku z tym wyeksploatowanie, jest zróżnicowany i zawiera się w granicach od 1 roku, w przypadku bloku o mocy 910 MW, do ponad 40 lat, w przypadku 18 bloków o mocy 200 MW i do ponad 50 lat, w przypadku 6 bloków o mocy 200 MW. W najbliższych 30 latach 66 parowych bloków opalanych węglem będących obecnie JWCD, z wyjątkiem 8 parowych bloków na parametry nadkrytyczne, oddanych do eksploatacji w latach 2008-2021, będzie musiało być sukcesywnie wyłączane z ruchu, z powodu zużycia technicznego i niezdolności do dalszej pracy w KSE.

Bloki parowe opalane węglem są bardzo dużymi emitentami gazu cieplarnianego CO<sub>2</sub>, w ilości ponad 100 mln ton CO<sub>2</sub> w 2021 r. Z tego powodu polskie elektrownie zmuszone były wydatkować w 2021 r. kwotę ponad 25 mld zł, na zakup pozwoleń do emisji tak dużej ilości gazu cieplarnianego, a w 2022 r. kwota ta może wzrosnąć do ponad 40 mld zł. Miało to bardzo duży wpływ na pogorszenie się efektywności ekonomicznej polskich elektrowni i wzrost średniej ceny energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym, która w 2021 r. wzrosła do 278,08 zł/MWh. Musiało to w znaczącym stopniu wpłynąć na wzrost ceny energii elektrycznej dla odbiorców i pogorszenie wskaźników ekonomicznych Kraju. Dalszy wzrost cen uprawnień do emisji CO<sub>2</sub> i cen węgla w 2022 r. spowodowały w I kwartale 2022 r. drastyczny wzrost ceny energii elektrycznej na rynku konkurencyjnym do 468,32 zł/MWh. Musi to spowodować w najbliższych miesiącach kilkudziesięcioprocentowy wzrost cen energii elektrycznej dla jej odbiorców.

Międzynarodowe zobowiązania naszego Kraju związane z dążeniem świata do neutralności klimatycznej, wynikające z podpisania i ratyfikowania przez Polskę Porozumienia klimatycznego (paryskiego), oraz scharakteryzowana wyżej w skrócie sytuacja w polskiej elektroenergetyce, wymaga w długim horyzoncie czasowym, istotnej transformacji energetycznej źródeł wytwórczych w KSE. Musi ona opierać się na zasadzie zrównoważonego rozwoju. Do najważniejszych kryteriów zrównoważonego rozwoju źródeł wytwórczych w KSE należą: zapewnienie bezpieczeństwa pracy KSE, koniecznego dla bezpieczeństwa dostawy energii elektrycznej odbiorcom, zapewnienie dostawy energii elektrycznej odbiorcom po umiarkowanej cenie, sprzyjającej ekonomicznemu rozwojowi Kraju, oraz zapewnienie ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatycznym. Wynika z tego, że konieczna transformacja energetyczna źródeł wytwórczych w KSE wymaga zbudowania w okresie najbliższych 20 lat bezpiecznego, zeroemi-

syjnego i efektywnego ekonomicznie systemu elektroenergetycznego.

Długoterminowa strategia budowy bezpiecznego, zeroemisyjnego i efektywnego ekonomicznie systemu elektroenergetycznego w kraju nie posiadającym dużych zasobów hydroenergetycznych, pozwalających na budowę w systemie elektroenergetycznym elektrowni wodnych dużej mocy, zapewniających bezpieczną i stabilną jego pracę, musi opierać się na łączeniu rozwoju energetyki wykorzystującej OZE oraz energetyki jądrowej. Dlatego głównym wyzwaniem transformacji energetycznej źródeł wytwórczych w KSE, w najbliższych 20 latach w Polsce, musi być zsynchronizowanie stopniowego wyłączenia z ruchu wyeksploatowanych parowych bloków energetycznych opalanych węglem, pełniących w KSE funkcje jednostek wytwórczych centralnie dysponowanych (JWCD), zapewniających bezpieczeństwo jego pracy, z włączaniem do KSE nowych jednostek wytwórczych, mogących pełnić podobne funkcje, zapewniające bezpieczeństwo pracy KSE. Wykonane analizy wskazują, że powinny to być jądrowe bloki energetyczne, charakteryzujące się, podobnie jak parowe bloki opalane węglem, ciągłością i stabilnością pracy, ale zapewniające wytwarzanie energii elektrycznej przy zerowej emisji CO<sub>2</sub> i umiarkowanych kosztach w długim horyzoncie czasowym, dzięki niskim kosztom paliwowym.

W ostatnich latach zostały opracowane, zbudowane i włączone do ruchu w systemach elektroenergetycznych kilkunastu krajów nowoczesne, jądrowe bloki energetyczne z reaktorami wodno-ciśnieniowymi (PWR) generacji III+, charakteryzującymi się ciągłością i stabilnością pracy, niezależną od warunków zewnętrznych, oraz wysokim bezpieczeństwem. Początek rozwoju energetyki jądrowej w Polsce przypada w okresie, gdy technologia wodno-ciśnieniowych reaktorów energetycznych generacji III+ uzyskała na świecie pełną dojrzałość technologiczną i komercyjną.

Wdrożenie energetyki jądrowej w Polsce przyczyni się do zapewnienia bezpieczeństwa pracy Krajowego Systemu Elektroenergetycznego i tym samym bezpieczeństwa energetycznego Kraju, zwiększy dywersyfikację paliwową sektora wytwórczego polskiej elektroenergetyki i ograniczy uzależnienie naszego Kraju od paliw kopalnych, ustabilizuje w długim horyzoncie czasowym koszty produkcji i tym samym ceny energii elektrycznej dla odbiorców, obniży znacząco emisje CO<sub>2</sub> sektora wytwórczego elektroenergetyki i przybliży nasz Kraj do osiągnięcia neutralności klimatycznej.

Biorąc powyższe pod uwagę Komitet Problemów Energetyki przy Prezydium Polskiej Akademii Nauk wyraża jednoznacznie opinię, że dla zapewnienia bezpieczeństwa elektroenergetycznego Kraju, w Polsce jest konieczne i w pełni ekonomicznie i środowiskowo uzasadnione wdrożenie w najbliższym dziesięcioleciu energetyki jądrowej, zgodnie ze znowelizowanym Programem polskiej energetyki jądrowej i Polityką ener-

getyczną Polski do 2040 r. Jesteśmy w pełni przekonani, że podjęcie i zrealizowanie programu wdrożenia energetyki jądrowej jest zgodne z polską racją stanu. Aby to wyzwanie mogło być zrealizowane bez opóźnień, które przyniosłyby bardzo duże straty ekonomiczne i środowiskowe, konieczne jest przyspieszenie prac nad realizacją Programu polskiej energetyki jądrowej, szczególnie w zakresie:

1. ostatecznego zatwierdzenia lokalizacji pierwszej elektrowni jądrowej i wskazania lokalizacji drugiej i trzeciej elektrowni,
2. wyboru technologii i głównego wykonawcy inwestycji,
3. uwzględnienie w Prawie atomowym konieczności utworzenia struktury wsparcia technicznego (TSO),
4. uruchomienie kształcenia kadr dla energetyki jądrowej w kilku uczelniach oraz uruchomienie w placówkach naukowo-dydaktycznych i naukowo-badawczych w kraju programów badawczo-rozwojowych w dziedzinie energetyki jądrowej w współpracy z placówkami badawczymi za granicą,
5. ustanowienia funduszu transformacji energetycznej, przede wszystkim z wpływów budżetowych z tytułu opłat za pozwolenia do emisji CO<sub>2</sub>, ponoszonych przez jednostki energetyki, z przeznaczeniem minimum 40% tego funduszu na realizację Programu polskiej energetyki jądrowej, co jest zgodne z aktem delegowanym do Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady 2020/852 z dnia 18.06.2020 r. w sprawie ustanowienia ram ułatwiających zrównoważone inwestycje, włączającym rozwój energetyki jądrowej do zrównoważonej środowiskowo działalności gospodarczej, wnoszącej istotny wkład w łagodzenie zmian klimatu, to znaczy w realizacji jednego z celów środowiskowych wymienionych w rozporządzeniu.

*Janusz Lewandowski  
Przewodniczący Komitetu  
Problemów Energetyki PAN,  
Warszawa*

## OPUBLIKOWANO WYNIKI EWALUACJI DZIAŁALNOŚCI NAUKOWEJ INSTYTUTÓW BADAWCZYCH ZA LATA 2017-2021

Institutowi Chemii i Techniki Jądrowej przyznano kategorię naukową A w dyscyplinie nauki chemiczne. Ocena punktowa osiągnięć Instytutu była wysoka i Komisja stwierdziła, że działalność naukowa Podmiotu w dyscyplinie nauki chemiczne kwalifikuje go do ubie-



**Fot. 1.** Na zdjęciu instalacja do oczyszczania gazów spalinowych przy użyciu wiązki elektronów z okrętowego silnika diesla zbudowana w Stoczni Remontowej w Rydze, Łotwa

gania się o kategorię naukową A+, a zatem Podmiot podlegał dodatkowej ocenie eksperckiej. W grupie instytutów badawczych wnioski o ocenę działalności naukowej złożyło 65 instytutów badawczych, w sumie oceniano 77 wniosków w różnych kategoriach naukowych) i tylko jeden z nich uzyskał ocenę A+.

W ramach oceny w kryterium III „Wpływ działalności naukowej na funkcjonowanie społeczeństwa i gospodarki”, IChTJ był zobowiązany przedstawić do oceny 2 opisy wpływu. Instytut przedstawił wymagane opisy wpływu oraz dowody wpływu – podlegały one ocenie przez 2 ekspertów powołanych przez Ministra na wniosek Przewodniczącego Komisji. Jeden z nich „Wykorzystanie badań w zakresie chemii wolnych rodników w ochronie środowiska przed zanieczyszczeniami chemicznymi i biologicznymi,” uzyskał ocenę: 100 pkt, w tym 50 pkt za zasięg wpływu i 50 pkt za znaczenie wpływu. „Zakres prac eksperci ocenili, jako interdyscyplinarny (nauki chemiczne, inżynieria chemiczna, fizyka techniczna, środowiska, transport morski), a zakres i osiągnięcia, jako międzynarodowe, przełomowe. Eksperti uznali, że interdyscyplinarność badań naukowych lub prac rozwojowych miała kluczowe znaczenie dla powstania danego wpływu. W związku z tym ostateczną ocenę opisu wpływu zwiększono o 20% do wysokości 120 pkt”.

Pełny wykaz kategorii naukowych przyznanych w 2022 r. podmiotom systemu szkolnictwa wyższego i nauki w poszczególnych dyscyplinach naukowych przez Ministra Edukacji i Nauki jest dostępny na stronie internetowej MEiN.

*dr Rafał Walczak,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*

## IFJ PAN OTRZYMAŁ PONOWNIE KATEGORIĘ A+

Z wielką przyjemnością informuję, iż decyzją Ministra Edukacji i Nauki nasz Instytut, **IFJ PAN uzyskał po raz kolejny najwyższą kategorię, tj. A+**, we własnie zakończonej ewaluacji polskich jednostek naukowych.

Chciałbym z tej okazji złożyć wszystkim pracownikom i doktorantom Instytutu wyrazy najwyższego uznania dla Waszej pracy oraz najszczerze gratulacje. Mamy zasłużone powody do dumy, a jednocześnie zachętę do dalszej, jeszcze bardziej wydajnej pracy naukowej.

Wyrażam jednocześnie wielkie uznanie dla wszystkich osób, które były bezpośrednio zaangażowane w proces przygotowywania dokumentów do ewaluacji, a zwłaszcza dla zespołu Działu Obsługi Badań Naukowych, kierowanego przez p. mgr Iwonę Świerblewską. Chciałbym także ogromnie docenić wkład w ten sukces członków poprzedniej Dyrekcji, na czele z ówczesnym Dyrektorem Naczelnym Profesorem Markiem Jeżabkiem – ewaluacja obejmowała bowiem lata 2017-2021.

*prof. Tadeusz Lesiak,  
Dyrektor Instytut Fizyki Jądrowej PAN,  
Kraków*

## NOWY PRZEWODNICZĄCY RADY GŁÓWNEJ INSTYTUTÓW BADAWCZYCH

W Warszawie 6 czerwca 2022 r. obradowało Forum Sprawozdawczo-Wyborcze delegatów 91 instytutów badawczych. Prof. dr hab. n. med. dr h.c. multi Henryk Skarżyński, dyrektor Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu, został wybrany na nowego przewodniczącego XI kadencji Rady Głównej Instytutów Badawczych (RGIB). Za tą kandydaturą, w głosowaniu tajnym, zagłosowali jednomyślnie wszyscy obecni na forum delegaci.

Prof. Henryk Skarżyński dotychczas pełnił funkcję wiceprzewodniczącego RGIB. Rada reprezentuje 91 instytutów badawczych w Polsce, które prowadzą badania naukowe na rzecz gospodarki, infrastruktury, środowiska, rolnictwa, medycyny oraz szeroko rozumianego bezpieczeństwa i nauk humanistycznych. Część instytutów wypełnia ważne zadania i obowiązki służb publicznych, a liczne rozwiązania tworzone w laboratoriach badawczych służą polskiej nauce, bezpieczeństwu i obronności kraju.



**Fot. 1.** Prof. dr hab. n. med. dr h.c. multi Henryk Skarżyński Przewodniczący Instytutu Fizjologii i Patologii Słuchu

Rada Główna Instytutów Badawczych reprezentuje interesy środowiska badawczego w kraju i za granicą oraz uczestniczy w polityce gospodarczej i społecznej, a w szczególności naukowej i innowacyjnej. Rada ma za zadanie przedstawiać organom administracji państwowej swoje opinie i postulaty mające na celu rozwiązywanie problemów wspólnych dla środowiska instytutów, jak również dla rozwoju nauki, poprawy innowacyjności i efektywności gospodarki, rozwoju kadr badawczych, a w szczególności młodych naukowców.

– Jestem zaszczycony, że mogę reprezentować całe środowisko badawcze zgromadzone w tak licznej grupie jednostek naukowych i działać na jego rzecz, a przez to mieć wpływ na promocję polskiej nauki na świecie. Podczas mojej kadencji chciałbym skoncentrować się na maksymalnym wykorzystaniu potencjału, który posiadają polskie instytuty badawcze, a także na owocnej współpracy z organami rządowymi, uniwersytetami i szkołami wyższymi, towarzystwami naukowymi oraz organizacjami pozarządowymi, tak aby, jak najlepiej realizować politykę naukową oraz innowacyjną Polski – mówi prof. Henryk Skarżyński.

Prof. Henryk Skarżyński jest światowej sławy otorynolaryngologiem, oto chirurgiem i wybitnym specjalistą z dziedziny implantów słuchowych. Poprzez swoje osiągnięcia naukowe, dydaktyczne i organizacyjne promuje od wielu lat w świecie polską naukę i medycynę, a w szczególności otorynolaryngologię, otochirurgię i audiologię. Jako pierwszy w Polsce wykonał 30 lat temu zabieg wszczepienia implantu ślimakowego, a 24 lata temu zabieg wszczepienia implantu pniowego. W latach 2013–2018, jako pierwszy w Pol-

sce i jako jeden z pierwszych w świecie, wykonał zabiegi wszczepienia różnego rodzaju implantów ucha środkowego. 20 lat temu, jako pierwszy w świecie wykonał pionierską operację wszczepienia implantu ślimakowego u pacjenta z częściową głuchotą z wykorzystaniem autorskiej elektrody. Badania naukowe nad zachowaniem resztkowego słuchu po wszczepieniu implantu ślimakowego oraz nad efektami łącznej stymulacji elektrycznej i akustycznej ucha wewnętrznego, prowadzone pod kierunkiem Profesora, zaowocowały opracowaniem, a następnie wdrożeniem na całym świecie autorskiej metody leczenia częściowej głuchoty (Partial Deafness Treatment – PDT). Efektem tego wdrożenia jest zasadnicza zmiana w podejściu do implantacji oraz w kryteriach kwalifikacji pacjentów do wszczepienia implantu ślimakowego. W roku 2016 otrzymał, jako jeden z trzech najbardziej uznanych w świecie ekspertów, niezwykle prestiżową nagrodę międzynarodowego środowiska specjalistów z dziedziny implantów słuchowych za wybitny wkład w rozwój nauki i medycyny oraz zapewnienie optymalnych możliwości komunikacji współczesnych społeczeństw. Prof. H. Skarżyński jest autorem wielu spektakularnych i znaczących osiągnięć na polu działalności naukowej, klinicznej, dydaktycznej i organizatorskiej. Inicjuje i rozwija nowe kierunki badań oraz wytycza nowe standardy terapii w dziedzinie otolaryngologii, audiologii, foniatrii, rehabilitacji, inżynierii klinicznej, zwłaszcza w leczeniu wrodzonych i nabytych uszkodzeń słuchu. Skutkiem jego wszechstronnej działalności jest niezwykle intensywny rozwój w Polsce całego obszaru medycyny związanego z diagnostyką, leczeniem oraz rehabilitacją uszkodzeń słuchu, głosu, mowy i równowagi, wraz z dziedzinami pokrewnymi z zakresu pedagogiki, psychologii, logopedii i inżynierii biomedycznej. Wdrożył do praktyki ponad 150 nowych rozwiązań klinicznych, co przyczyniło się do dynamicznego rozwoju dziedziny implantów słuchowych, oto chirurgii i audiologii w Polsce i na świecie, w tym upowszechniło „polską szkołę otologii” w nauce i medycynie światowej.

Profesor prowadzi szeroką działalność edukacyjną dla studentów i lekarzy z całego świata. Otrzymał liczne tytuły naukowe. Został odznaczony m.in. Krzyżem Komandorskim Orderu Odrodzenia Polski.

Warto poinformować, naszych Czytelników, że członkiem Rady Główniej Instytutów Badawczych jest pracowniczka IChTJ dr Urszula Gryczka.

Na podstawie informacji podanych w Biuletynie Informacyjnym RGIB.

*prof. Andrzej G. Chmielewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*

## 20-LECIE ISTNIENIA ZAKŁADU UNIESZKODLIWIANIA ODPADÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

2022 to rok jubileuszowy: 20-lecie istnienia obchodzi państwowy Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP), który zarządza Krajowym Składowiskiem Odpadów Promieniotwórczych w Różanie nad Narwią (KSOP). Samo składowisko właśnie świętuje zresztą własne 60-lecie. Od sześciu dekad działa nieprzerwanie w specjalnie przystosowanym, dawnym rosyjskim forcie obronnym na terenie Mazowsza.



Fot. 1. Fragment wystawy z okazji 20-lecia ZUOP

Z okazji tego podwójnego jubileuszu: 20-lecia funkcjonowania ZUOP i 60-lecia funkcjonowania KSOP w Różanie, z inicjatywy Ministerstwa Klimatu i Środowiska, 22 czerwca zainaugurowano w Sejmie Rzeczypospolitej Polskiej wystawę dotyczącą odpadów promieniotwórczych. Wiedza na temat tego, czym są, skąd pochodzą i jak wygląda proces gospodarowania odpadami jest w Polsce dość mała i prawodawcy, którzy swoimi decyzjami regulują postępowanie z nimi są z tego punktu widzenia kluczową publicznością. Najistotniejsze z ich perspektywy informacje zostały pokazane i zilustrowane na specjalnie zaprojektowanych na potrzeby wystawy i czytelności przekazu tablicach.

Pani Aneta Korczyk, zastępca dyrektora Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych z siedzibą w Świerku pod Otwockiem, przedstawiła działalność Zakładu i Krajowego Składowiska zebranym w sejmowym lobby parlamentarzystom i dziennikarzom. Na otwarciu wystawy obecni byli Wiceminister Piotr Działo oraz przedstawiciele Departamentu Energii Jądrowej MKiŚ, w tym jego dyrektor Tomasz Nowacki.

Aneta Korczyk,  
Zakładu Unieszkodliwiania  
Odpadów Promieniotwórczych,  
Otwock-Świerk

## ICH TJ Z AUTORYZACJĄ PREZESA PAA



10 sierpnia 2022 r. Prezes PAA oficjalnie wręczył decyzje o przyznaniu autoryzacji jednostkom, które udzielą wsparcia eksperckiego Państwowej Agencji Atomistyki. Jednostki te będą mogły pełnić rolę TSO (ang. Technical Support Organization), czyli organizacji wsparcia technicznego podczas budowy i eksploatacji elektrowni jądrowej w Polsce. Autoryzację Prezesa PAA otrzymało pięć jednostek naukowych, wśród których jest też nasz Instytut. [www.gov.pl/web/paa/piec-instytucji-eksperskich-z-autoryzacja-prezesa-paa](http://www.gov.pl/web/paa/piec-instytucji-eksperskich-z-autoryzacja-prezesa-paa)

Andrzej Chmielewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa

## NA ŚCIEŻCE DEKARBONIZACJI „COAL-TO-NUCLEAR” – NOWY PROJEKT W RAMACH PROGRAMU GOSPOSTRATEG

W kwietniu b.r. rozpoczęto realizację projektu p.t. „Plan dekarbonizacji krajowej energetyki na drodze modernizacji bloków węglowych z wykorzystaniem reaktorów jądrowych generacji III+ i IV (DEsire)”.



Projekt finansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w ramach Programu „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG realizuje konsorcjum:

- Politechnika Śląska (Lider konsorcjum),
- Ministerstwo Klimatu i Środowiska (Lider merytoryczny),
- Energoprojekt-Katowice SA (Partner technologiczny)
- Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (Partner technologiczny),
- Instytut Sobieskiego (Partner społeczno-gospodarczy).

Głównym celem projektu jest **opracowanie planu dekarbonizacji krajowej energetyki zawodowej poprzez modernizację** istniejących bloków energetycznych **z wykorzystaniem reaktorów jądrowych III i IV generacji**. Plan ten ma stanowić mapę drogową dla organizacji procesów inwestycyjnych prowadzących do transformacji scentralizowanych systemów wytwórczych.

Ważnym celem projektu jest także utworzenie oraz **pilotaż krajowego Klastra Transformacji Energetyki Zawodowej (KTEZ)**. KTEZ ma stanowić zaplecze organizacyjne dla działań zwiększających efektywność funkcjonowania różnych grup interesariuszy w procesie transformacji krajowych elektrowni oraz elektrociepłowni.

Opracowywany w ramach projektu plan dekarbonizacji będzie zawierał ogólne kryteria oceny energetycznych systemów wytwórczych w kontekście możliwości realizacji inwestycji dekarbonizacyjnych i będzie formułował procedury dla prowadzenia szczegółowych analiz w tym zakresie. Analizy te prowadzone zgodnie z czterema kryteriami: środowiskowym, technicznym, ekonomicznym i społecznym, pozwolą na identyfikację barier dla procesu dekarbonizacji a także sformułowanie potencjalnych sposobów ograniczenia ich oddziaływania w przyszłości. Plan będzie zawierał szereg wytycznych, m.in. z obszaru regulacji prawnych (w tym także mechanizmów wsparcia legislacyjnego), bezpieczeństwa całego procesu, źródeł finansowania, barier inwestycyjnych, a także wymaganych kompetencji dla prowadzenia procesu oraz akceptacji społecznej.

Opracowany w ramach projektu DEsire plan dekarbonizacji będzie mógł być wykorzystany przez potencjalnych inwestorów zainteresowanych retrofitem funkcjonujących obecnie elektrowni i bloków węglowych poprzez wdrożenie reaktorów jądrowych.

Prace zaplanowane w projekcie są podzielone na 2 fazy. W pierwszej fazie projektu zostanie przeprowadzona analiza krajowej infrastruktury energetycznej i towarzyszącej pod kątem jej adaptacji w procesie modernizacji z zastosowaniem reaktorów jądrowych (analizowanych będzie 15 lokalizacji: 10 elektrowni i 5 wyodrębnionych bloków węglowych). Na bazie tej analizy powstanie ranking najkorzystniejszych lokalizacji, które będą brane pod uwagę przy opracowaniu studiów wykonalności. Ponadto zostanie opracowany zintegrowany model oceny aspektów energetyczno-ekonomicznych w adaptacji reaktorów jądrowych III i IV generacji w procesie dekarbonizacji bloków ener-

getycznych (zidentyfikowane zostaną reaktory o wysokim potencjale wdrożeniowym). Instytut Chemii i Techniki Jądrowej wypracuje model organizacji i bezpieczeństwa modernizacji oraz eksploatacji elektrowni i bloków energetycznych z reaktorami jądrowymi generacji III i IV; opracuje katalog rozwiązań projektowych i organizacyjnych.

W drugiej fazie projektu zostaną przygotowane referencyjne studia wykonalności dla trzech lokalizacji inwestycji. Ponadto wykonana zostanie diagnoza społeczna i opracowane materiały analityczne wspierające wdrożenie planu modernizacji. W ramach działalności klastra KTEZ wyniki projektu zostaną przygotowane do wykorzystania w praktyce. Ministerstwo Klimatu i Środowiska zagreguje efekty zrealizowanych zadań przygotowując plan modernizacji elektrowni i bloków energetycznych poprzez wykorzystanie reaktorów jądrowych generacji III, III+ i IV.

Projekt DEsire wpisuje się w politykę energetyczną państwa ukierunkowaną na osiągnięcie neutralności klimatycznej poprzez zmianę struktury wykorzystania pierwotnych źródeł energii. Aby osiągnąć cele klimatyczne UE, Polska musi stopniowo rezygnować ze spalania paliw kopalnych na korzyść eksploatacji źródeł niskoemisyjnych. Pierwszym krokiem na tej drodze może być realizowany obecnie projekt.

*dr inż. Agnieszka Miśkiewicz,  
Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa*

## KONFERENCJA INAUGURUJĄCA PROJEKT DESIRE

### Omówienie konferencji

W dniu 12 maja 2022 r. odbyła się na Politechnice Śląskiej w Gliwicach konferencja inauguracyjna projektu dotyczący dekarbonizacji produkcji energii elektrycznej w Polsce pt. „Plan dekarbonizacji krajowej energetyki zawodowej na drodze modernizacji z wykorzystaniem reaktorów jądrowych (DEsire)”. Całość tej ponad 6 godzinnej konferencji jest dostępna na portalu YouTube<sup>1</sup>.

Projekt realizowany jest w ramach Strategicznego Projektu Badań Naukowych i Prac Rozwojowych zatytułowanego „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” GOSPOSTRATEG VI. Dwa cele projektu DEsire obejmują:

1. plan dekarbonizacji krajowej energetyki zawodowej na drodze modernizacji z wykorzystaniem reaktorów

<sup>1</sup> Konferencja inauguracyjna projektu DEsire – Politechnika Śląska [12.05.2022] – YouTube <https://www.youtube.com/watch?v=iPbvflvccAo>

jądrowych generacji III/III+ i IV, który będzie stanowił mapę drogową dla organizacji procesów inwestycyjnych mających na celu transformację scentralizowanych systemów wytwórczych z uwzględnieniem kryteriów zrównoważonego rozwoju,

2. pilotaż krajowego Klastra Transformacji Energetyki Zawodowej (KTEZ), który stanowić będzie zaplecze organizacyjne dla działań mających na celu zwiększenie efektywności różnych grup interesariuszy w procesie transformacji krajowych elektrowni oraz elektrociepłowni.

Popularnie mówiąc, celem projektu jest, zbadanie możliwości zastąpienia kotła parowego reaktorem jądrowym dostarczającym parę o odpowiednich parametrach dla „starej” turbiny. Pomysłodawcy projektu DEsire opublikowali na ten temat obszerny artykuł pt. „Retrofit Decarbonization of Coal Power Plants – A Case Study for Poland”<sup>2</sup> w czasopiśmie *Energis* w grudniu 2020 r. Stanowił on zapewne materiał wyjściowy do wystąpienia o przyznanie funduszy na realizację tego projektu. Taki sposób dekarbonizacji spotkał się z przychylną oceną na przykład na amerykańskim blogu o energetyce, gdzie zacytowano stwierdzenie z artykułu, że „zastąpienie kotłów węglowych przez wysokotemperaturowe małe modułowe reaktory jądrowe może obniżyć początkowe koszty kapitałowe nawet o 35% i uśredniony koszt wytwarzania energii elektrycznej nawet o 28% w porównaniu z budową całej instalacji od początku”.<sup>3</sup>

Zagadnienie transformacji węgiel-energetyka jądrowa (Coal-to-Nuclear) omawiane jest w wielu publikacjach na świecie i ogólnie jest pozytywnie oceniane jako właściwa droga do redukcji emisji dwutlenku węgla. Nie ulega wątpliwości, że gospodarka polska wymaga dekarbonizacji i realizacja tego procesu, jak piszą autorzy wspomnianego artykułu planowana jest czterema drogami poprzez:

1. odchodzenie od spalania paliw kopalnych,
2. budowę energetyki wiatrowej i fotowoltaicznej (solarnej),
3. zastosowanie źródeł geotermalnych,
4. racjonalizację zużycia energii elektrycznej.

Projekt DEsire ma zajmować się tylko tą pierwszą drogą poprzez modernizację istniejących elektrowni konwencjonalnych, jak napisano z wykorzystaniem reaktorów jądrowych III/III+ i IV generacji. Ogólne założenia projektu przedstawione zostały w kolejnych (dziwięciu) wygłoszonych referatach:

1. Przedstawienie założeń projektu DEsire – Łukasz Bartela, Politechnika Śląska,
2. Program Polskiej Energetyki Jądrowej – Andrzej Sidor, Ministerstwo Klimatu i Środowiska,



Fot. 1. Prowadzący dyskusję końcową prof. Jakub Kupecki

3. Stan obecny krajowych źródeł wytwórczych oraz potencjalne kierunki ich transformacji – Rafał Browarski, Energoprojekt-Katowice SA,
  4. Analiza wymagań dotyczących bezpieczeństwa jądrowego procesu dekarbonizacji energetyki zawodowej w Polsce poprzez zastosowanie reaktorów jądrowych – Agnieszka Miśkiewicz, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
  5. Zjawisko NIMBY a energetyka jądrowa. Perspektywa polska, czy mamy doświadczenia na których możemy się oprzeć – Urszula Kuczyńska, Fundacja Instytut Sobieskiego,
  6. Klaster Transformacji Energetyki Zawodowej – Łukasz Bartela, Politechnika Śląska,
  7. Bezpieczeństwo energetyczne kraju w oczekiwaniu na nowe inwestycje – Andrzej Rusin, Politechnika Śląska,
  8. Dotychczasowe analizy w obszarze retrofitów jądrowych dla warunków krajowych – Paweł Gładysz, Politechnika Śląska,
  9. SMRY – Małe Modułowe Reaktory – przyspieszenie dekarbonizacji krajowej energetyki – Waław Gudowski, Synthos Green Energy SA.
- oraz podsumowane przez uczestników końcowej dyskusji.

Do szczegółów projektu odsyłam czytelnika do dostępnej w internecie rejestracji konferencji, a tu chciałbym tylko zwrócić uwagę na dwa referaty związane ściśle z energetyką jądrową. W pierwszym pani Urszula Kuczyńska zajmuje się sposobami przekonania społeczeństwa do energetyki jądrowej i wypowiada takie zdanie „przekonując do energetyki jądrowej należy działać tak by szeregowy Kowalski zrozumiał, że elektrownia jądrowa jest po to, by był prąd w gniazdku, a nie stale mówić o bezpieczeństwie, odpadach itp.” A w drugim prof. Waław Gudowski powiedział, że „SMRY są świetnym stabilizatorem hybrydowej sieci energetycznej”, ale czy w obszarze tzw. „retrofitów” to już jest sprawa do dyskusji.

<sup>2</sup> <https://doi.org/10.3390/en14010120>

<sup>3</sup> A Path from Coal to Nuclear is Being Blazed in Wyoming - Atomic Insights [https://atomicinsights.com/a-path-from-coal-to-nuclear-is-being-blazed-in-wyoming/?highlight=from coal to nuclear](https://atomicinsights.com/a-path-from-coal-to-nuclear-is-being-blazed-in-wyoming/?highlight=from%20coal%20to%20nuclear)

W końcowej dyskusji prowadzonej przez prof. Jakuba Kupeckiego (Instytut Energetyki – Warszawa) udział wzięli: Andrzej Głowacki (Państwowa Agencja Atomistyki – Warszawa), Łukasz Grela (Energoprojekt-Katowice), dr Stanisław Tokarski (Główny Instytut Górnictwa – Katowice), dr Mariusz Twardawa (Rafako Innovation – Racibórz) i Thierry Deschaux (EDF SA – Warszawa). Prowadzący zwrócił się do dyskutantów z prośbą o spojrzenie na projekt DEsire z możliwie szerszej perspektywy. Z ponad godzinnej dyskusji warto moim zdaniem odnotować następujące stwierdzenia:

1. dopiero po zakończeniu projektu, za 3 lata będzie wiadomo, czy opłacalna i możliwa jest jego realizacja w polskich warunkach mimo podejmowania podobnych działań w innych krajach, ale trzeba takie badania przeprowadzić;
2. na postawione w dyskusji pytanie: czy w Polsce jest miejsce dla małych i średnich reaktorów, może być tylko odpowiedź pozytywna patrząc na podejmowane w ostatnich miesiącach decyzje różnych przedsiębiorstw i spółek podejmujących ten temat;
3. odnosząc się ogólnie do budowy energetyki jądrowej w Polsce wymieniono następujące zasadnicze jej uwarunkowania:
  - istnieje potrzeba energetyczna, która obecnie nie podlega dyskusji,
  - zapewnienie finansowania poprzez np. kontrakt różnicowy, kredyt bankowy, środki własne itp., może być w obecnych warunkach trudne do opanowania wobec rosnących stóp procentowych;
  - sposób budowy wymaga określenia: „pod klucz”, czy składanie z osobnych elementów, gdyż posiadamy odpowiednie kompetencje pokazane przy budowie elektrowni konwencjonalnych,
  - wydanie odpowiednich regulacji prawnych, które są już częściowo przygotowane i to niezależnie od tego, jaki reaktor będzie budowany, chociaż niezbędne będą pewne dodatkowe uściślenia,
  - uzyskanie odpowiednich certyfikatów ze strony dostawcy dla producentów poszczególnych urządzeń, które mają być wytwarzane w Polsce,
  - zapewnienie odpowiednich kadr do budowy energetyki jądrowej w zakresie wydawania zezwoleń (dozór jądrowy), samej budowy i późniejszej eksploatacji,
  - zachęcanie młodzieży do zajęcia się energią jądrową, by (dodam od siebie) nie doszło do zmarnowania kadry powstałej/wyszkolonej w latach 60-tych i 80-tych ubiegłego wieku, a także po 2009 roku;
4. dyskutanci postawili trzy zasadnicze pytania techniczne:
  - czy zastąpienie kotła parowego przez reaktor jądrowy nie spowoduje ingerencji w układ turbiny,

- czy bloki o mocy 200 MW po obecnej modernizacji będą zdolne do dalszej eksploatacji za ok. 10 lat, kiedy ten pomysł będzie realizowany,
- czy obecne lokalizacje elektrowni węglowych nadają do umieszczenia tam reaktorów jądrowych np. w odniesieniu do posadowienia reaktora, transportu ciężkich elementów wyposażenia, zapewnienia odpowiedniej strefy bezpieczeństwa itp.;

5. wszyscy dyskutanci wyrażali przekonanie, że już tym razem, przy trzecim podejściu dojdzie do budowy elektrowni jądrowej w naszym kraju, a w tym kontekście projekt DEsire może odegrać ważną rolę. Podsumowując konferencję prof. Łukasz Bartela zapewniał o uważnym zapoznaniu się z opiniami wyrażonymi w dyskusji oraz planach organizowania w przyszłości seminariów na wybrane tematy z udziałem szerokiego grona specjalistów.

#### Kilka uwag o artykule będącym podstawą projektu DEsire

Czytając poprzednio wspomniany artykuł „Retrofit Decarbonization of Coal Power Plants—A Case Study for Poland” opublikowany przez wnioskodawców projektu DEsire mam kilka uwag odnoszących się do rozdziału o reaktorach jądrowych (11. Repowering Coal Units with Nuclear Reactors).

W artykule wymienione zostały w Tabeli 5 wszystkie dostępne reaktory (PWR, BWR, PHWR i nawet RBMK) należące do II i III generacji, podczas gdy na konferencji słusznie stwierdzono, że do zastępowania kotłów parowych w elektrowniach konwencjonalnych przy zachowaniu odpowiednich parametrów pary nadają się tylko wybrane reaktory IV generacji, zatem w definicji celu nr 1 zbędne jest odniesienie się do reaktorów generacji III/III+.

Autorzy przytaczają listę reaktorów doświadczalnych małej mocy należących do II generacji, w których zastosowano konwencjonalny podgrzew pary dla uzyskania odpowiednich jej parametrów dla powszechnie stosowanych turbin w energetyce (temperatura i stopień suchości) co stwarza wrażenie, że był to dobry pomysł. Niestety reaktory z tej listy zostały dawno wyłączone/zlikwidowane jak: Indian Point One w 1974 r., Elk River w 1968 r., Carolinas-Virginia Tube Reactor w 1967 r. i Saxton w 1972 r. Reaktor w EJ Lingen (Niemcy), jedyny o większej mocy równej 183 MWe pracował tylko 7 lat i został wyłączony w 1977 r., gdyż stwarzał problemy w eksploatacji konwencjonalnej nagrzewnicy zasilanej gazem ziemnym.

Wymieniając w Tabeli 6 reaktory chłodzone innym czynnikiem niż zwykła (lekka) woda i dostarczające parę o odpowiednich parametrach dla współczesnych turbin w autorzy wymienili następujące reaktory:

- SFR – reaktor chłodzony sodem (inna nazwa FBR) podczas gdy na świecie są tylko trzy takie pracujące





**Fot. 2.** Uczestnicy dyskusji kończącej seminarium. Od lewej: Andrzej Głowacki (Państwowa Agencja Atomistyki – Warszawa), Łukasz Grela (Energoprojekt – Katowice), dr Stanisław Tokarski (Główny Instytut Górnictwa – Katowice), dr Mariusz Twardawa (Rafako Innovation – Racibórz) [brak łączącego się zdalnie p. Thierry Deschaux (EDF SA – Warszawa)]

reaktory o mocy 560 i 820 MWe (EJ Biełojarska blok nr 3 i 4) w Rosji oraz jeden o mocy 20 MWe (CEFR) w Chinach, ale ze względów bezpieczeństwa reaktory chłodzone sodem nie będą mogły być zlokalizowane na terenach dawnych elektrowni konwencjonalnych położonych zbyt blisko skupisk ludzkich,

- LFR – reaktor chłodzony ołowiem, podczas gdy na świecie aktualnie budowany jest tylko jeden taki reaktor (BREST-OD-300 o mocy 300 MWe) w Rosji (od sierpnia 2021 r. z terminem uruchomienia w 2026 r.), ale mimo pewnego doświadczenia w zastosowaniu tej technologii w reaktorach o znacznie mniejszej mocy w okrętach podwodnych to do planowanych celów transformacji węgiel-energetyka jądrowa chyba nie będą się one nadawały,
- HTGR – reaktor wysokotemperaturowy chłodzony gazem dla którego podano liczbę 14 pracujących bloków co jest informacją nieprawdziwą, gdyż sytuacja na świecie wygląda zupełnie inaczej, zostało uruchomionych 5 reaktorów badawczych z czego tylko dwa reaktory pozostają w eksploatacji: jeden w Chinach (HTR-10) i drugi w Japonii (HTTR), natomiast z reaktorów energetycznych jeden w Niemczech (THTR-300 o mocy 300 MWe) został wyłączony w 1988 r. po dwóch latach pracy na skutek problemów technicznych i pod presją katastrofy w Czarnobylu, a drugi w USA (Fort St. Vrain o mocy 330 MWe) został wyłączony w 1989 r. po 13 latach również na skutek problemów technicznych i ostatecznie elektrownia została przebudowana na gaz ziemny, (czyli odwrotnie niż w tym projekcie), natomiast wiadomo, że dwa reaktory energetyczne HTR-PM o mocy termicznej 250 MWt każdy w Chinach (pracujące na jedną turbinę o mocy 210 MWe) zostały właśnie uruchomione w grudniu 2021 r. i będzie można śledzić doświadczenia z ich eksploatacji

w następnych latach oraz ocenić czy nadają się do powielenia chociaż Chińczycy już planują budowę 12 takich reaktorów,

- iMSR – zintegrowany reaktor na stopionych solach o mocy termicznej 400 MWt, który aktualnie jest w fazie projektowania i uzyskiwania zezwolenia na budowę w Kanadzie i może odpowiadać mocą do użytkowanych w Polsce turbin, ale brak jest jakichkolwiek doświadczeń eksploatacyjnych reaktora o tej mocy,
- Moltex SSR – reaktor na stopionych solach o mocy 330 MWt o specyficznym, bardzo przeszłościowym zastosowaniu do utylizacji paliwa jądrowego z innych reaktorów, ale ze względu na zbyt małą moc nie będzie się nadawał do zastosowania w tym projekcie,
- SCWR – reaktor chłodzony wodą o parametrach nadkrytycznych (nie pasuje do innych reaktorów wymienionych w tej tabeli), a według przewidywań nie uzyska on zezwolenia na budowę ze względu na obawy przed niestabilnością wywołowaną zjawiskiem odparowania wody w stanie nadkrytycznym w rdzeniu reaktora

zatem podsumowując, żaden z tych reaktorów, oprócz reaktora HTGR nie znajdzie zastosowania w Polsce i zajmowanie się nimi nie ma uzasadnienia, co mam nadzieję zostanie stwierdzone w końcowym raporcie.

Do zastosowania w celu transformacji węgiel-energetyka jądrowa autorzy wymieniają tylko dwa reaktory IV generacji chłodzone gazem (hel) lub ciekłymi solami, które dostarczają parę wodną o odpowiednich parametrach, a mianowicie:

- a. reaktor HTR-PM chłodzony gazem typu „kulowe złożo usypane”, o którym już poprzednio napisano,
- b. reaktor KP-FHR chłodzony ciekłą solą o mocy termicznej 320 MWe i elektrycznej 140 MWe, projektowany przez amerykańską firmę Kairos Power, któ-

rego prototyp ma być uruchomiony przed 2030 r. i trwają starania o uzyskanie zezwolenia na budowę, ale z tej samej kategorii reaktorów HTR jest jeszcze trzeci: c. reaktor SC-HTR chłodzony gazem o mocy 272 MWe z rdzeniem pryzmatycznym (odpada problem przesuwających się kul paliwowych), projektowany przez amerykańską firmę Framatome Inc., który był prezentowany w Warszawie na konferencji HTR2018 i wtedy w rozmowie prywatnej usłyszałem, że od podjęcia decyzji o budowie do jego ukończenia potrzeba 7 lat.

Omawiając wszystkie konstrukcje reaktorów jądrowych stanowiące podstawę projektu DEsire trzeba stwierdzić, że niestety opierają się one na niesprawdzonych do końca rozwiązaniach technicznych. Reaktor badawczy typu HTGR o nazwie AVR o mocy 27 MWt ze złożem usypanym kul zawierających paliwo podobnie jak reaktor HTR-PM pracował wiele lat w Niemczech (1967-1988). Niestety po zakończeniu eksploatacji wystąpiły poważne trudności w jego likwidacji z powodu pyłu węglowego jaki powstaje przy ruchu kul, a jak będzie po wielu latach pracy reaktora kulowego w Chinach tego nie wiadomo. Informacje o energetycznych reaktorach HTGR zostały już wyżej przedstawione.

Wyprzedzając wnioski jakie pewno będą sformułowane w raporcie końcowym w projekcie zostanie wytypowana jedna lokalizacja, zbudowana zostanie taka hybryda: nowy reaktor i stara turbina i jeśli po 2-3 cyklach paliwowych (3-5 latach) nie będzie kłopotów eksploatacyjnych to będzie można powielać tę konstrukcję. Jeśli będzie to reaktor typu HTGR to bardzo przydatne mogą być doświadczenia z eksploatacji zapowiadanej budowy (oby w możliwie krótkim czasie) reaktora badawczego w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku. Natomiast jeśli będzie to reaktor chłodzony ciekłą solą, to trzeba będzie oprzeć się wyłącznie na zagranicznych doświadczeniach, kiedy ten reaktor zostanie uruchomiony.

W podsumowaniu trzeba stwierdzić, że wszelkie wysiłki na rzecz dekarbonizacji polskiej energetyki należy popierać i być może ten kierunek działania okaże się owocny. Wydaje się, że równolegle należy zbadać możliwości budowy na terenach elektrowni konwencjonalnych małych reaktorów modułowych jak BWRX-300, o czym też piszą autorzy wymienionego artykułu. Według wszystkich znanych zapowiedzi reaktor ten mógłby być znacznie wcześniej uruchomiony, należy do dobrze sprawdzonej technologii reaktorów chłodzonych wodą i wykorzystuje wszystkie atuty wcześniej istniejącej na tym terenie elektrowni konwencjonalnej.

*Andrzej Mikulski,  
Polskie Towarzystwo Nukleonicy,  
Warszawa*

## EURATOM HORIZON EUROPE PROJECT COORDINATED BY INCT APPROVED FOR FUNDING!



RADOV proposal coordinated by INCT and submitted to the Euratom Horizon Europe Innovation Action call has been approved for funding. The Grant Agreement was signed by the partners and European Commission in the end of the June. Proposal entitled “**RAD**iation harvesting of bioactive peptides from egg proteins and their integration in **adV**anced functional products (RADOV)” was submitted to the call Nuclear Research and Training (topic “Cross-sectoral synergies and new applications of nuclear technologies”) which was opened in July, 2021.

RADOV moves from the well-established radiation process applications in food irradiation for disinfection and shelf-life increase, and from several decades of fundamental studies of the biological effects of radiation in vivo, to explore completely new routes for the production of bioactive peptides from egg proteins based on radiation-induced fragmentation, and new product prototypes that incorporate egg protein-derived peptides. High energy radiation from electron accelerators will be used to produce peptides and the collection of the results acquired regarding the peptide structure, irradiation conditions, and related bioactivity properties will be one vital output of the project. To expand the application of ionizing radiation and to demonstrate the broad scope of its applications, new products containing bioactive proteins/peptides will be designed and developed with the use of electron beam irradiation to manufacture them. In particular, two target products will be developed as demonstrators of egg-derived bioactive peptides by radiation-induced fragmentation: peptide-laden antimicrobial/antioxidant hydrogel wound dressings and peptide-grafted active food packaging film.

The project will be coordinated by Dr Dagmara Chmielewska-Śmietanko. Interdisciplinary team of researchers from 6 scientific institutions is involved in the projects:

- Institute of Nuclear Chemistry and Technology (Poland) –Coordinator,
- KTH Royal Institute of Technology (Sweden),
- University of Palermo (Italy),
- Italian National Research Council (Italy),
- University of Huddersfield (UK),
- The Association of Instituto Superior Técnico for Research and Development (Portugal).

While the projects focus on closer-to-the-market activities including prototyping, testing, demonstrating, piloting and scaling-up for new or improved products strong involvement of three industrial partners:

- KIKGEL Sp. z o.o. (Poland),
- DEKOFILM POLSKA SP. Z O.O. (Poland),
- E.P.S. S.p.A. Egg Powder Specialists (Italy)

is crucial for the successful project implementation.

The project duration is 4 years beginning from the 1<sup>st</sup> of the September, 2022. Total budget of the RADOV project is 2 M € including 1.86 M€ EC contribution.

### Projekt Euratom Horizon Europe koordynowany przez ICHTJ zdobył finansowanie!

Wniosek zatytułowany "RADiation harvesting of bioactive peptides from egg prOteins and their integration in adVanced functional products (RADOV)" został zgłoszony na call Nuclear Research and Training (temat "Cross-sectoral synergies and new applications of nuclear technologies"), który został ogłoszony w lipcu 2021. Projekt został wysoko oceniony przez ekspertów i zakwalifikowany do finansowania w ramach akcji Euratom Horizon Europe Innovation Action, a z końcem czerwca 2022 r. została podpisana przez partnerów i Komisję Europejską umowa grantowa.

Celem projektu RADOV jest opracowanie zupełnie nowych sposobów otrzymywania bioaktywnych peptydów na drodze zapoczątkowanej radiacyjnie fragmentacji protein obecnych w jajku kurczaka. Otrzymane w ten sposób peptydy będą zintegrowane w nowych produktach, do których otrzymywania również będzie zastosowana wiązka elektronów: opatrunek hydrożelowy o właściwościach antybakteryjnych oraz folia opakowaniowa zawierająca peptydy o właściwościach antyoksydacyjnych. Jednym z wyników projektu będzie również baza danych zestawiająca warunki napromieniowania, otrzymane w ten sposób peptydy oraz ich właściwości.

Projekt będzie koordynowany przez dr inż. Dagmarę Chmielewską-Śmietanko i weźmie w nim udział interdyscyplinarny zespół naukowców z 6 europejskich jednostek naukowych:

- Instytut Chemii i Techniki Jądrowej – Koordynator,
- KTH Królewski Instytut Techniczny (Szwecja),
- Uniwersytet w Palermo (Włochy),
- CNR Włoska Krajowa Rada ds. Badań (Włochy),
- Uniwersytet w Huddersfield (Wielka Brytania),
- Politechnika Lizbońska (Portugalia).

Jednym z celów projektu jest opracowanie prototypów produktów, które w przyszłości mogłyby być wdrożone na rynku, stąd bardzo ważne jest uczestnictwo w projekcie również trzech partnerów przemysłowych:

- KIKGEL Sp. z o.o. (Polska),
- DEKOFILM POLSKA SP. Z O.O. (Polska),
- E.P.S. S.p.A. Egg Powder Specialists (Włochy).

Projekt rozpocznie się 1 września 2022 r. i będzie trwał 4 lata. Całkowity budżet projektu wynosi 2 mln €, w tym dofinansowanie otrzymane z KE to 1,86 mln €.



Fot. 1. Od lewej: Prof. dr. hab. Wojciech Migdał, dr inż. Urszula Gryczka, dr inż. Marta Walo, dr inż. Dagmara Chmielewska-Śmietanko, mgr Dorota Korniszewska

### Podziękowania

Projekt RADOV jest finansowany przez Program Badawczo-Szkoleniowy EURATOM Horizon Europe Unii Europejskiej, numer umowy grantowej 101061694



This project has received funding from the European Union's Euratom Research and Training Programme (EURATOM) Horizon Europe under Grant Agreement No 101061694.

Dagmara Chmielewska-Śmietanko,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



## JAK POWSTAŁA BOMBA ATOMOWA THE MAKING OF THE ATOMIC BOMB TŁUMACZENIE PIOTR AMSTERDAMSKI

**Richard Lee Rhodes** (dziennikarz, historyk) urodził się 4 lipca 1937 r. w Kansas City. Jego ojciec był kolejarzem. Richard i jego brat Stanley mieli trudne dzieciństwo. Richard ukończył szkołę średnią działającą przy ośrodku (sierociniec) *Andrew Drumm Institute*. Dzięki stypendium Victora Wilsona został w 1955 r. studentem Uniwersytetu Yale. Uniwersytet ukończył z wyróżnieniem w 1959 r. Jest dwukrotnym laureatem Nagrody Pulitzera – w 1986 r. za książkę *"The Making of the Atomic Bomb"* i w 2007 r. za książkę *"Arsenals of Folly: The Making of the Nuclear Arms Race"*. Książka **Jak powstała bomba atomowa** jest wysoko oceniana przez historyków i byłych uczestników projektu Manhattan.

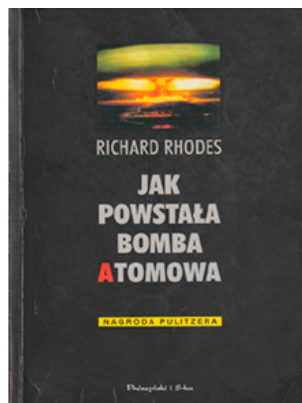
Historia powstawania broni jądrowej rozpoczęła się na początku dwudziestego wieku. Podstawy naukowe

i techniczne rozwijały się dynamicznie w latach trzydziestych i przyspieszyły w czasie II wojny światowej. Są one stale przedmiotem zainteresowania różnych środowisk nie tylko związanych z techniką jądrową. Szczególnym zainteresowaniem cieszą się publikacje przedstawiające nie tylko stan badań naukowych, prowadzących do powstania broni masowego rażenia, ale i związane z tym obiekty etyczne jej twórców, będących wybitnymi naukowcami. Innym również interesującym zagadnieniem są problemy polityczne związane z bronią jądrową zarówno w krajach prowadzących badania, jak i na międzynarodową skalę szczególnie po zakończeniu II wojny światowej.

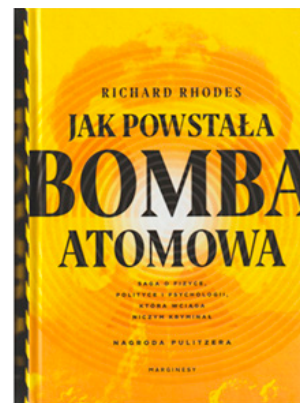
W roku 2000 wydawnictwo Prószyński i S-ka wydało książkę Richarda Lee Rhodesa amerykańskiego dziennikarza **Jak powstała bomba atomowa** (*The Making of the Atomic Bomb*). W roku 2021 wydawnictwo Marginesy wydało nową nieco rozszerzoną wersję tej książki. W bardzo atrakcyjny sposób przedstawiono w niej stan badań i prac nad bombą atomową w Stanach Zjednoczonych, Niemczech, Japonii i Wlk. Brytanii do połowy XX wieku, a także i wątpliwości moralne uczonych tworzących broń masowego rażenia. Znaczna część książki jest poświęcona historii budowy bomby w Stanach Zjednoczonych i uzasadnieniu jej użycia.

Książka **Jak powstała bomba atomowa** jest niezwykle obszerna (895 stron) oparta na bardzo bogatej bibliografii. Jej kompozycja przypomina swobodną gawędę na temat historii nie tylko budowy bomby atomowej, ale historii atomistyki z wyjaśnieniami zjawisk fizycznych, szczegółami technologicznymi (chemiczne metody selekcjonowania i oczyszczania materiałów promieniotwórczych, konstrukcja aparatury pomiarowej). Podane są także charakterystyki i krótkie życiorysy osób wykonujących eksperymenty, tworzących nowe konstrukcje aparatury lub koncepcje eksperymentów. Ponieważ znaczna część tych opowiadań nie jest powszechnie znana, szczególnie jeżeli chodzi o osoby biorące udział w tworzeniu nowej fizyki jaką była w ciągu całego stulecia atomistyka te fragmenty są bardzo interesujące. Autor stara się również wyjaśniać omawiane zjawiska fizyczne. Do najciekawszych należą opisy fizyki pierwszej reaktora (stosu Fermiego) i wybuchu bomby.

W opracowaniu przedstawiono także historię powstania ośrodka badawczego w Stanach Zjednoczonych tzw. Projektu Manhattan, którego celem było wyprodukowanie bomb atomowych. Idea bomby atomowej powstała bardzo wcześnie. Po tym, jak w roku 1903 E. Rutheford i F. Soddy opublikowali w artykule *Radioactive Change* pierwsze oszacowanie energii wyzwolonej podczas rozpadu promieniotwórczego, H.G. Wells napisał futurystyczną książkę *The Open Conspiracy*, w której przedstawił scenariusz wojny z wykorzystaniem bomby atomowej. W roku 1932 J. Chadwick opublikował wyniki eksperymentów potwierdzających wykrycie neutronu. Węgierski fizyk Leo Szilard zasugerowany powieścią



Okładka: Krzysztof Findziński  
Wydawnictwo: Prószyński i S-ka  
Warszawa 2000



Okładka  
Wydawnictwo: Marginesy  
Warszawa 2021

Fot. 1. Projekty okładek

H.G. Wellsa z 1914 r. doszedł do wniosku, że możliwa jest budowa bomby atomowej, jeżeli wywołana zostanie samopodtrzymująca się reakcja wyzwalania neutronów. W kwietniu 1933 r. wprowadzono w Niemczech specjalną ustawę na podstawie której urzędnicy państwowi pochodzenia żydowskiego zostali pozbawieni pracy. Spowodowało to masową emigrację tychże uczonych początkowo do Wielkiej Brytanii, a następnie do Stanów Zjednoczonych, w których rozpoczęto przekonywanie władz amerykańskich do rozpoczęcia badań na możliwość budowy broni atomowej. Akcję tę zapoczątkował Leo Szilard. W książce przedstawiono szczegółowo te starania omawiając wzajemną korespondencję uczonych i listy do władz obrazujące determinację uczonych w dążeniu do celu. Niezwykle interesująco jest opisana historia powstawania ośrodka badań w Los Alamos dla projektu Manhattan, opis powstawania broni, opis problemów wymagających nowych rozwiązań teoretycznych i technicznych, przygotowanie próbnego wybuchu, ćwiczeń przygotowujących do bombardowania, bombardowanie, opis przerażających skutków bombardowania, reakcje polityków i uczonych.

W sierpniu 1989 r. odbyłem w Los Alamos specjalny kurs (poświęcony metodom pomiaru plutonu w materiałach jądrowych używanych energetyce jądrowej), co pozwoliło mi zorientować się w ogólnej geografii usytuowania ośrodka badawczego.

Autor wspominał trzech polskich uczonych biorących czynny udział w rozwoju atomistyki: Leopolda Infelda współpracującego jakiś czas z A. Einsteinem, Stanisława Ulama matematyka biorącego udział w projekcie Manhattan, a po wojnie współtwórcy bomby wodorowej wykorzystując zjawisko syntezy jądrowej oraz Józefa Rotblata współpracownika J. Chadwicka i przez krótki czas uczestnika projektu Manhattan.

W książce przedstawiono również osiągnięcia fizyków niemieckich, francuskich, brytyjskich, japońskich,

duńskich koncentrując się głównie na pracach prowadzących do budowy broni jądrowej.

Książka zawiera ogromną ilość informacji z różnych dziedzin fizyki, chemii, matematyki, polityki, historii przeplatanych wzajemnie, co utrudnia czasem ustalenie chronologii zdarzeń i powoduje konieczność częstych powrotów do przeczytanego tekstu. Dlatego uważam,

że brak skorowidza nazwisk jest dość istotną wadą, mimo że zwiększyłyby to znacznie objętość. Szkoda, również, że w ostatnim wydaniu pominięto zestaw zdjęć.

*dr inż. Krzysztof Rzymkowski,  
Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej  
Warszawa*

## JAK WALCZYĆ SKUTECZNIE?

Przeegraliśmy. Z własnej winy.

Tylko najstarsi pamiętają, że na początku lat 90. XX wieku byliśmy o krok od zbudowania pierwszej w Polsce elektrowni jądrowej. Jej budowa w Żarnowcu na Pomorzu była już dość zaawansowana. Na placu, pod ogromnymi namiotami stał zbiornik reaktora i elementy tzw. pierwszego obiegu. Zbudowane zostały drogi i duża część infrastruktury.

Nagle do akcji wkroczyli tak zwani ekolodzy. Byli energiczni i znakomicie wyposażeni. W dużych ilościach drukowali ulotki i biuletyny. Powstawały filmy i programy radiowe. Na dobrze zorganizowane demonstracje przyjeżdżali mówcy, którzy potrafili grać na emocjach. W ich wypowiedziach niedawna awaria w Czarnobylu urastała do rangi światowego kataklizmu. Podawano przerażające dane o liczbie ofiar. Dziesięć tysięcy, sto tysięcy, może więcej? Kto by tam przejmował się danymi WHO lub raportem UNSCEAR, które mówiły o kilkudziesięciu pracownikach elektrowni i ratownikach. Dla wielu osób „atom” stał się synonimem zła i śmierci.

Niestety, fizycy i specjaliści znający się na energetyce jądrowej nie mogli posłużyć się populistycznymi hasłami. Nie grali na emocjach, nie mieli również odpowiednich środków, by wygrać to starcie. Elektrowni jądrowej nie mamy w Polsce do dziś.

Czy obecnie potrafilibyśmy sobie poradzić w podobnej sytuacji? Obawiam się, że nie.

Skuteczna walka z przeciwnikami (czegokolwiek) wymaga umiejętności, zaangażowania, ale także dużych środków oraz woli politycznej władz. Aby przekonać społeczeństwo o swoich racjach, potrzebne są: materiały drukowane, filmy, nagrania, wsparcie stacji telewizyjnych, a także akcja w mediach społecznościowych i imprezy plenerowe. Na to potrzeba pieniędzy. Dużych pieniędzy. To są podstawy, które zna nawet początkujący rzecznik prasowy lub pracownik agencji PR.

Najważniejsi są jednak ludzie. Nie wystarczy nawet najmądrzejszy profesor, który najlepiej orientuje się w problemie. Nie wystarczą bezbłędne wykłady i prelekcje. Nie wystarczy racja i odpowiedzialność.

Potrzebne są osoby, które potrafią skutecznie walczyć. Takie, które umieją porwać słuchaczy. Bywają tacy specjaliści. Naukowcy, którzy wiedzę przekazują

z ogromną pasją. Innych trzeba nauczyć nietłatwej sztuki wystąpień publicznych.

Wszyscy wiedzą, że w czasie prezentacji należy przyciągnąć uwagę, wywołać zainteresowanie, nakłonić do przyjęcia naszych argumentów. Wydaje się to proste, ale jak to zrobić?

W jaki sposób przyciągnąć uwagę?

Sposobów jest wiele. Najprostsze to opowiadanie żartu (ale trzeba pomyśleć, czy kogoś żart nie urazi), pokazanie zaskakującego doświadczenia (sztuczki), przedmiotu, który nie jest znany widzom lub przedstawienie zadziwiającej informacji. Oczywiście, wszystko z zaangażowaniem, swobodnie i z uśmiechem.

Niestety, większość z nas ma smutną lub nawet zbołałą minę. Ja też. I często muszę sobie przypominać, że konieczny jest uśmiech. Osoby lekko uśmiechnięte i zachowujące się swobodnie są bowiem odbierane jako bardziej wiarygodne, a ich przekaz lepiej trafia do odbiorców. A jeśli jeszcze potrafią żartować z siebie, sukces jest blisko.

Warto zwrócić uwagę na to, że wiedza większości odbiorców nie jest wielka. Niektórzy wierzą, że lasery wywołują dźwięki, a geny są tylko w organizmach modyfikowanych genetycznie. O płaskoziemcach i anty 5G nawet nie wspomnę. Zwykle już nie pamiętamy tego, co wiedzieliśmy podczas matury. Nawet wiedza ze szkoły podstawowej mogła już „wyparować”. Pokazują to dobitnie nagrania ze strony „Matura to bzdura”.

A zatem przygotowując wystąpienie, nie możemy odwoływać się do tego, co wiedzieliśmy w szkole. Najlepiej, gdy założymy, że naszym odbiorcą jest dziecko w wieku 8 lat. Przesadzam? To proszę przypomnieć sobie budowę pantofelka, wszystkich, kolejnych władców z dynastii Jagiellonów lub dowolną z ważnych lektur szkolnych. Ze szczegółami. Prawdopodobnie będzie z tym kłopot. Podobny problem będą mieli nasi słuchacze, gdy opowiemy o budowie atomu, czy teorii względności. Coś tam słyszeli, ale...

Jak wywołać zainteresowanie? Opowiedzieć historię. Dziś nazywa się to modnie „storytelling”, ale od prawieków ludzie opowiadają sobie historie. O wojnach i bitwach, o strasznych katastrofach, o bohaterach i władcach. My możemy opowiadać ciekawe historie o niezwykłych dziejach odkrywca, o poznawaniu materii, o błędach uczonych (ludzie to lubią) i o ewolucji rozwiązań z których korzystamy na co dzień. W te histo-

rie wplatamy informacje, które chcemy przekazać odbiorcom. W takiej formie zostaną lepiej zaakceptowane i zapamiętane. Niestety, przygotowanie dobrej, ciekawej opowieści, która przekazuje ważną wiedzę, wymaga poważnej pracy i pasji.

Doświadczeni prezynterzy wiedzą, że uwagę przywiąza mówca i... rekwizyt. Coś, co możemy pokazać i ewentualnie dać do potrzymania w dłoni znakomicie wzmacnia wiarygodność i ułatwia zapamiętanie treści. To wcale nie musi być laser ani super urządzenie. To może być najzwyczajniejszy przedmiot, którego związek z tematem będziemy mogli wykazać.

Kolejną, ważną rzeczą są wątpliwości. Dobrze jest wcześniej zastanowić się, co będzie budziło opór słuchaczy, z czym mogą się nie zgadzać, dlaczego będą przeciw. Musimy przygotować sobie argumenty i przedstawiać je z całym zaangażowaniem. Wystarczy wziąć przykład ze znakomitego prof. Andrzeja Strupczewskiego z NCBJ, który niezwykle skutecznie potrafi rozprawiać się z pytaniami i zarzutami przeciwników. Prawdopodobnie są także inni, znakomici mówcy należący do młodszego pokolenia.

Mam nadzieję, że tym razem specjaliści przygotowują się do skutecznej walki. Potrzebne są szkolenia oraz... długa praktyka. Jedno wystąpienie nie czyni mistrza. Tu, podobnie jak w matematyce, nie ma łatwej drogi do sukcesu. Opanowanie tremy, przygotowanie coraz lepszych argumentów wymagają wielokrotnych występów.

Próbujmy i przygotowujmy się do walki o umysł.

*Wiktor Niedzicki,  
dziennikarz radiowy i telewizyjny, fizyk i muzyk,  
Warszawa*

## TAKSONOMIA REDIVIVUS – SPRAWDZAM!

Meandry poglądów na tematy energetyki aktualnie sugerują nam, że może podczas najbliższej zimy Europa nie będzie dostatecznie „ocieplona” lub – jak kto woli, „dogrzana”, ale mamy za to stuprocentową gwarancję, że na pewno nudzić się nie będziemy!

Powiecie Państwo, że generalnie na przestrzeni wieków minionych nie było z tym większych kłopotów? Z ogrzewaniem, czy z nudą? Oczywiście nie idzie o opał, ale o wydarzenia, które nie pozwalają się nudzić. Racja, ale należy przyznać, że artykułowane przez ludzi świątłych poglądy układały się jednak w ciąg logiczny pod dyktando kolejnych wynalazków, technik i technologii. Zaczynaliśmy oczywiście od chrustu. Wykorzystywaliśmy ponad miarę wszelką lasy. Zaprzęgliśmy wiatr do pracy. Skorzystaliśmy z siły wodnej. Wydobywaliśmy węgiel i gaz oraz stworzyliśmy technologię jądrową. Mamy

też opatentowaną formę pułapki na promienie słoneczne. Budujemy nawet w różnej konfiguracji technicznej magazyny energii. Szerzej nie wspominając w tym miejscu o wodorze i np. powstającej u sąsiadów za Odrą Wodrowej na wzór Krzemowej) Dolinie. Mamy też wciąż nadzieję na zmaterializowanie się idei fuzji termojądrowej. Propozycji moc. Wystarczy z nich skorzystać. Co - jak się okazuje w praktyce dnia codziennego – może jednak nie uchronić nas od kryzysu energetycznego.

Leniwy intelektualnie czas letniej kanikuły, ustępujący miejsca nadchodzącej jesieni, przypomina nam o tym, że proces cykliczności pór roku – nawet w naszym do tej pory umiarkowanym w tej części Europy klimacie – może nam tym razem sprawić dość niemiłą niespodziankę. I choć nie należy spodziewać się bardzo niskich temperatur, ale widząc, co dzieje się z cenami energii, może warto sobie własne „to i owo” ocieplić. Oczywiście „to i owo” pozostaje w ścisłej zależności od stanu konta bankowego oraz odległości jaka dzieli nasze domostwo od najbliższego boru. Ci z nas, którzy mają do niego dalej, powinni zająć się zbieraniem chrustu i jego transportem możliwie jak najwcześniej.

Na początek proponuje jednak przetestować stres test sprawczości poglądów wyrażanych przez nas samych i naszych przedstawicieli (we władzach wszelkich!). Co prowadzi w energetycznym teatrze zdarzeń prostą drogą do obejrzenia – odgrywanego na europejskich scenicznych deskach – kolejnego aktu sztuki pod nazwą „Taksonomia”. Pisana na początku jako jednoaktówka, ma szansę stać się może nawet operą istic mydlaną. Kłopot tylko, że to nie inscenizatorzy wyjdą na niej – jak przysłowiowy Zabłocki na mydle – ale my! Społeczeństwo kupujące coraz droższe bilety wstępu i to bynajmniej nie na igrzyska, ale do teatru transformacji energii. Ach! pardon! Pozostaje zawsze możliwość zbierania chrustu. Co wiesz czy nie tylko posłanka opozycji, jeśli ceny węgla, gazu i ropy będą tak szybko szły w górę, jak obecnie!

W poprzednim felietonie wyraziłem opinię, że zaliczenie energetyki jądrowej do tej formy produkowania energii, która może w Unii Europejskiej liczyć na finansowe wsparcie na pewno zostanie oprotestowana. Nie trzeba było być Pytią XXI wieku, aby przewidzieć - taki, a nie inny – rozwój wypadków. Organizacje pozarządowe sprzeciwiły się decyzji KE ws. taksonomii, czyli uznania energetyki jądrowej i gazu za zrównoważone, zatem zielone źródła energii. Wśród protestujących była także *Institutional Investors Group on Climate Change*, grupa inwestorów z ponad 370 instytucji i zarządzająca aktywami o wartości... 50 bilionów dolarów. – *My, organizacje pozarządowe i społeczne, apelujemy do instytucji finansowych o publiczne zobowiązanie się do wykluczenia zarówno gazu kopalnego, jak i energii jądrowej ze wszystkich produktów i obligacji sprzedawanych jako zrównoważone, ekologiczne lub odpowiedzialne* – zaapelowano w liście otwartym.

Siła ekologicznych argumentów, wsparta milionowymi aktywami, może, a nawet chyba na pewno nie czyni, iż zieleń jest bardziej soczysta. W tym momencie mamy oczywiście na myśli intensywny zielony kolor rozkwitającej przyrody. A nie zieleń kojarzącą się nam z dolarami. Kolor to kolor. I na banknotach nie wzbudza estetycznego zachwyty, bo nader często jest wyblakły, co akurat w tym przypadku ma znaczenie drugorzędne. Byle tylko numery banknotów dały się rozszyfrować! Porzucmy jednak zielone dywagacje na rzecz faktów.

14 czerwca br. dwie komisje Parlamentu Europejskiego poparły projekt rezolucji zabraniającej uznania gazu i atomu jako zrównoważonych, czyli w pełni zielonych źródeł energii. Skutkiem czego mogą zostać zablokowane unijne fundusze na wspieranie do 2030 r. inwestycji związanych z tymi obszarami energetyki.

W aktualnej sytuacji w jakiej jest w tej chwili energetyka europejska warto przywołać zawołanie: wszystkie ręce do wiosła. Każda forma energetyki, która odsuwa nas od dyktatu głównego gracza na rynku gazu wzmacnia naszą unijną solidarność energetyczną. Tymczasem? W gremiach decyzyjnych miast zwarcia szeregów toczą się pseudo taksonomiczne werbalne przepychanki w rytm dwóch słów: za/przeciw lub przeciw/za. (Niepożądane skreślić!).

W sklepach od ponad trzydziestu lat mamy nie tylko ocet, a półki uginają się od wszelakich towarów, ale nadal nigdzie nie można kupić, nawet grama zdrowego rozsądku. Wszyscy go ponoć szukają. Wtajemniczeni jednak twierdzą, że bynajmniej nie idzie o to, aby gonić króliczka. I dlatego stoję na stanowisku, iż potrzebny jest nam wielki prestidigitator na miarę - wyraźnie już ponad wszelką miarę - zawirowanych (słownik Google sugeruje poprawę tegoż słowa na... zwariowanych oraz ... zawirusowanych i może ma rację!) czasów współczesnych. Niech wreszcie wyciągnie zdrowy rozsądek z cylindra. Nawet za uszy!

Dla węgla, gazu, atomu: tak, czy nie? Innymi słowy: czyli „trzy po trzy” z tzw. taksonomią w tle. Powiecie Państwo, iż trzeba być kamikaze, aby tu dać – niczym na tacy – powód do sarkazmu. Nawet najmniejszego. I nawet gdyby drwiąca nutka wynikała tylko z powyższej własnie... konstatacji! Ale skoro początek – tej jeszcze nie do końca mocno zakorzenionej w naszej tradycji umiejętności dystansowania się od siebie samego i jednocześnie wirówki życiowych nonsensów – dał sam Aleksander hrabia Fredro. W takim razie tego się trzymajmy! Jego memuary zatytułowane „Trzy po trzy”, zasłużyły sobie na najwyższą ocenę ze strony nie tylko guru polskiego literaturoznawstwa, prof. Kazimierza Wyki, lecz i samych Czytelników. Lektury współczesne, czy wynurzenia polityków, są dużo bliżej banalnych konstatacji i dyżurnych truizmów, niż prawd poddawanych filtrowaniu w myśl deflacionistycznej teorii prawdy, o której informuje dr inż. Wojciech Głuszewski w „PTJ” w numerze 2/2022, relacjonując uroczystości jubileuszu trzydziestolecia działalności Fundacji na Rzecz Nauki Polskiej.

Cóż, musimy się pogodzić, że prawda służy raczej jako mniej lub bardziej precyzyjne narzędzie do dokonywania generalizacji, niż ma być istotną wewnętrzną cechą wypowiedzi, formułowanych poglądów, etc. Wyrażana przez kogoś myśl, aby była prawdziwa, nie musi wcale strukturalnie odzwierciedlać stanu porządku rzeczy w świecie. Proponuję: patrzmy zatem na „faktyczną faktyczność” prawdy zawsze indywidualnie, ale koniecznie przez pryzmat społeczny. Jeśli decyzja społecznie skutkować będzie dobrze, czyli wydajnie służyć budowaniu dobra dla wielu, a nie nadmiaru zbytku dla grona nielicznych, może skutecznie przyczynić się budowania tego *jednego z najlepszych światów*, zwłaszcza, że innego nie mamy. I chyba inaczej być nie może, skoro innego, niż ten przez nas obecnie zamieszkały świat mieć nie będziemy.

Powiecie Państwo, jeszcze jedna quazi-prawda w imię jej poszukiwania? Dopóki jednak owej Prawdy poszukujemy, istnieje prawdopodobieństwo zmniejszenia skali błędu poznawczego. I w tym należy upatrywać naszą szansę! A już zupełnie nawiasem. Czy wolicie Państwo logikę dwuwartościową, czy rozmytą?

Zapomniałem! Wszak jest jeszcze jedna – i to bezinwestycyjna – innowacja natury czysto organizacyjnej, pozwalająca na rzeczywistą poprawę sytuacji na całym odcinku „europejskiego ogrzewnictwa.” Należy ogłosić koniecznie tegoroczną zimę imieniem Andersa Celsiusa. Jest ku temu ważny powód. W roku 2022 mija 280. rocznica zbudowania przez Niego termometru rtęciowego. Jak widać nie proponuję rozwiązań radykalnych, w tym wypadku byłoby to stłuczenie termometru. Wystarczy tylko zmiana na niższą, temperatury wymaganej w pomieszczeniach zamkniętych, zarówno tych z oknami, jak i bez okien.

Zminimalizowanie wygórowanych ambicji w skali Andersa Celsiusa i – na wszelki wypadek Daniela Gabriela Fahrenheita – pozwoli nam na poważne oszczędności.

Dlatego nie tylko zasłużonego lorda Kelvina, ale także wszystkie zera absolutne radziłbym zostawić na kolejnych zimach. Póki co, wystarczy dorobek tych dwóch wybitnych uczonych, aby uniknąć efektu przegrzania. Temu zaradzi skutecznie nowa i powszechnie obowiązująca europejska norma.

A grożące na ewentualne wyłączenia prądu? Sugierowanie blackoutu jest po prostu zwykłym i nieuzasadnionym czarnowidztwem, któremu mówimy stanowcze nie! Na czas zimy wystarczy wstawić do pomieszczeń biur, szkół i zakładów pracy rowery. Wreszcie wynalazek dynamy rowerowego pozwoli nie tylko na pełne oświetlenie, ale będzie miał zbawienny wpływ na poprawę kondycji społeczeństw europejskich. Z likwidacją nadwagi włącznie!

Marek Bielski,  
Przeгляд Techniczny,  
Warszawa



ZMARŁ  
DR EDWARD RURARZ  
(13.10.1931 – 05.03.2022) –  
WSPOMNIENIE

Z głębokim żalem i smutkiem przyjęliśmy wiadomość o nagłej śmierci ś.p. dr. Edwarda Rurarza wieloletniego pracownika Instytutu Badań Jądrowych i współpracownika „Postępów Techniki Jądrowej”.

W nekrologach poświęconych osobie Zmarłego informowano o związkach dr. Rurarza z PTJ. Już ten fakt uzasadnia potrzebę rozszerzenia tej informacji. (O działalności naukowej Edwarda Rurarza napiszą zapewne Jego koledzy naukowcy).

„Postępy Techniki Jądrowej” zaczęły się ukazywać w roku 1957. Już w roku 1960 Edward Rurarz opublikował na łamach tego czasopisma obszerny tekst poświęcony zmarłemu w grudniu 1959 wybitnemu uczonemu prof. Andrzejowi Sołtanowi. Kilka lat później został członkiem zespołu redakcyjnego PTJ. I od tego czasu – praktycznie przez całe swoje życie – 60 lat! – był związany z tym periodykiem.

Moja znajomość z panem Edwardem była najbardziej intensywna w latach 1992-2020, kiedy Edward Rurarz był członkiem zespołu redakcyjnego odnowionego czasopisma.

Dr Rurarz publikował teksty z dziedziny fizyki jądrowej, a w szczególności spektroskopii jądrowej, a także artykuły na temat historii badań jądrowych. Recenzował, bardzo wnikliwie, niektóre teksty nadsyłane do redakcji.

Ostatni artykuł dr Rurarz opublikował w PTJ w roku 2018. Jego tytuł: „Okresowy układ pierwiastków chemicznych”. Artykuł ukazał się w 120 rocznicę odkrycia polonu i radu. W liście poprzedzającym publikację artykułu autor napisał: „Jestem stary i wiem, że niebawem trzeba będzie „numer butów pokazać”.

Mam cichą nadzieję na powtórkę sytuacji, jaka spotkała Mikołaja Kopernika. Otóż Jemu na łożu śmierci wręczono jeszcze pachnące edytorską farbą wydrukowane dzieło Jego życia pod tytułem „De revolutionibus orbium celestium”. Może i mnie zdarzy się podobna sytuacja i na łożu śmierci zostanie mi wręczony numer PTJ z moim artykułem o nowych pierwiastkach”. Miał Pan Edward poczucie humoru.

W styczniu 2020 r. wręczyliśmy naszemu koledze redakcyjnemu Edwardowi Rurarzowi dyplom z podziękowaniem za wieloletnią współpracę i zaangażowanie w rozwój czasopisma „Postępy Techniki Jądrowej”.

Jeszcze w grudniu ostatniego roku w rozmowie ze mną obiecał, że jeszcze coś dla nas napisze...

Zapamiętamy Pana Edwarda Rurarza, jako cenionego naukowca, autora ciekawych tekstów, człowieka



Fot.1. Dr Edward Rurarz

zastężonego dla upowszechnienia polskiej nauki, jako człowieka zawsze pogodnego, życzliwego, mającego poczucie sprawiedliwości i humoru, uczciwego, dobrego człowieka.

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

## EDWARD RURARZ (1931-2022)

Edward Rurarz urodził się 13 października 1931r. w Rozłazłowie, pow. Sochaczew, w rodzinie kolejarzkiej. Zmarł 5 marca 2022 r. w Warszawie, w Szpitalu Covidowym na Stadionie Narodowym. Został pochowany 14 marca 2022 r. w Warszawie na cmentarzu w Marysinie Wawerskim.



Po ukończeniu Liceum Ogólnokształcącego im Fryderyka Chopina w Sochaczewie w 1950 r. rozpoczął studia na Uniwersytecie Warszawskim, na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii. Po ukończeniu studiów w dziedzinie fizyki w 1955 r., po otrzymaniu „nakazu pracy”, rozpoczął pracę w nowo utworzonym Instytucie Badań Jądrowych (IBJ) w Warszawie, w zakładzie kierowanym przez profesorów Andrzeja Sołtana i Zdzisława Wilhelmiego. Równocześnie był zaangażowany w organizowanie Centralnej Biblioteki Nukleonicznej podległej Pełnomocnikowi Rządu ds. Pokojowego Wykorzystania Energii Jądrowej w Polsce. Należał do ścisłe-



go grona osób tworzących olbrzymie zbiory literatury z dziedziny fizyki, chemii i techniki jądrowej w postaci książek, odbitek pism i mikrofilmów w okresie odtajniania tych materiałów po 1-szej Konferencji Genewskiej w 1956 r. poświęconej pokojowemu wykorzystaniu szeroko pojętych technik jądrowych.

W latach 1958-1962 Edward Rurarz pracował przy projektowaniu i budowie generatora neutronów w Świerku. W oparciu o wiązkę jonów deuteronów o energii około 200 keV, otrzymywano strumienie neutronów o energiach około 2-3 MeV i 14 MeV z reakcji  $D(d,n)$  i  $T(d,n)$ . Wykorzystując ten akcelerator, pracujący w reżimie ciągłej wiązki jonów deuteronów jak i impulsowym oraz zbudowaną i skompletowaną aparaturą pomiarową i detekcyjną, prowadził badanie mechanizmu reakcji jądrowych wywołanych przez neutrony szybkie w zakresie jąder  $107 < A < 143$ .

Badania te opublikowane wcześniej w Acta Physica Polonica, w Nukleonice i raportach instytutowych były tematem jego rozprawy doktorskiej zatytułowanej „Badanie krótko życiowych aktywności wzbudzanych neutronami o energii 14 MeV” (promotor prof. Ziemowid Sujkowski) obronionej w 1974 r. przed Radą Naukową Instytutu Badań Jądrowych.

Po uzyskaniu stopnia doktora Edward Rurarz odbył dwa staże w Zjednoczonym Instytucie Badań Jądrowych, w Dubnej. Za pierwszym razem, w latach 1978-1979 w zespole spektroskopii jądrowej, zajmował się wytwarzaniem izotopów o wielkim niedoborze neutronów, głównie w obszarze ziem rzadkich, i badaniem ich promieniotwórczego rozpadu. Jego drugi pobyt w ZIBJ, w latach 1986-1989, wiąże się ze skoncentrowaniem jego głównych zainteresowań na zastosowaniu wiązek protonów z akceleratorów do wytwarzania izotopów promieniotwórczych dla celów medycznych. Tematyka ta związana była również z rozpoczęciem budowy protonowego cyklotronu w Ośrodku w Świerku w połowie lat siedemdziesiątych. Zakresem jego zainteresowań było badanie wydajności i funkcji wzbudzeń reakcji jądrowych wywołanych przez protony o energiach od progu reakcji do około 100 MeV prowadzących do wytwarzania radionuklidów w wyniku reakcji  $(p,xn)$ . Przebadano kilkanaście tarcz prowadzących wprost lub pośrednio do wytworzenia 10 radionuklidów ( $^{52}\text{Fe}$ ,  $^{77}\text{Br}$ ,  $^{82}\text{Rb}$ ,  $^{97}\text{Ru}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{123}\text{I}$ ,  $^{127}\text{Xe}$ ,  $^{128}\text{Cs}$ ,  $^{178}\text{Ta}$  i  $^{201}\text{Tl}$ ) stosowanych w procedurach diagnostycznych medycyny nuklearnej.

Dr Edward Rurarz swoim entuzjazmem do zastosowania wiązek jonów, zwłaszcza protonów z akceleratorów do wytwarzania radioizotopów do celów medycznych, zaraził grono współpracowników fizyków i chemików w Instytucie Problemów Jądrowych oraz w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego (ŚLCJ UW). Metoda ta jest obecnie stosowana w wielu ośrodkach w kraju oraz realizowany jest specjalny program CERAD w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku.

Dr Edward Rurarz współpracował z wieloma ośrodkami naukowymi w kraju i za granicą między innymi: z Instytutem Fizyki Słowackiej Akademii Nauk w Bratysławie, Instytutem Fizyki Uniwersytetu w Brnie (Czechy), z grupą fizyków i chemików Zjednoczonego Instytutu Badań Jądrowych w Dubnej i z Instytutem Fizyki Wysokich Energii (IHEP) w Sierpuchowie (Rosja).

W ramach swej pracy zawodowej wyszkolił licznych absolwentów i praktykantów z Instytutu Fizyki Doświadczalnej Uniwersytetu Warszawskiego (IFD UW), Instytutu Fizyki Politechniki Warszawskiej i innych uczelni polskich i zagranicznych.

Dr Edward Rurarz pozostawił po sobie kilkadziesiąt prac naukowych opublikowanych w raportach i w czasopiśmie o obiegu międzynarodowym jak: Acta Physica Polonica B, Nukleonika, Radiochemica Acta, Zeit.f. Phys. Prace te są licznie cytowane w literaturze fachowej. Znacząca część jego dorobku naukowego publikowana była w raportach instytutowych: IBJ, IPJ, ZIBJ, ŚLCJ UW.

W okresie swojej pracy zawodowej był uhonorowany wieloma nagrodami i wyróżnieniami.

Edward Rurarz był człowiekiem o szerokich zainteresowaniach. Posiadał bogate zbiory literatury fachowej z dziedziny fizyki i techniki jądrowej oraz literatury pięknej.

Był człowiekiem uczynnym, wielkiego serca i wrażliwości, wybitnym specjalistą z fizyki jądrowej, zwłaszcza fizyki neutronowej. Był wielkim entuzjastą metody cyklotronowej wytwarzania radioizotopów do celów medycznych.

Prywatnie Edward Rurarz był troskliwym ojcem i dziadkiem. Był dumny ze swych córek wybitnie uzdolnionych lingwistycznie oraz z wnuka Jakuba, którego szczególnie uwielbiał.



Fot. 1. Dr Edward Rurarz z wnukiem Jakubem (ok. 2000 r.)

prof. dr hab. Marian Jaskóła,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock- Świerk

prof. zw. dr hab. Jan Żylicz,  
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa

## SZKOLENIE „ZASTOSOWANIE PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO DO MODYFIKACJI TWORZYW POLIMEROWYCH”

Warszawa 10-11 października 2022 r.

Od wielu lat w krajach zaawansowanych technologicznie obserwuje się w przetwórstwie tworzyw polimerowych szybki rozwój radiacyjnych technik. Promieniowanie jonizujące stosuje się głównie w celu poprawy jakości wytwarzanych produktów (polepszenia właściwości mechanicznych i termicznych, odporności chemicznej, wydłużenia czasu użytkowania produktów, itp.). Obecnie w Polsce wiązki wysokoenergetycznych elektronów znajdują zastosowanie wyłącznie w procesach wytwarzania wyrobów z pamięcią kształtu (rury i taśmy termokurczliwe), wstępnej wulkanizacji opon samochodowych i w sieciowaniu folii spożywczych. Jednak coraz silniej zarysowuje się potrzeba wykorzystania metod radiacyjnych w innych gałęziach przemysłu, szczególnie związanych z energetyką.

Dlatego Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie organizuje, co dwa lata szkolenia, których celem jest poinformowania przedstawicieli: przemysłu, rolnictwa, medycyny, farmacji, kosmonautyki, ochrony środowiska, ochrony dziedzictwa kulturowego, obronności i nauki o możliwościach wykorzystaniem technik radiacyjnych oraz spodziewanych korzyściach związanych z zastosowaniem tego typu technologii.

Najbliższe szkolenie poświęconego procesom inicjowanym wiązką elektronów w polimerach, a także najistotniejszym zastosowaniom technik radiacyjnych organizowane jest w dniach 10-11 października 2022 r. w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w formie on-line.

*Na program kursu składają się wystąpienia zaproszonych prelegentów dotyczące badań materiałowych i przetwórstwa tworzyw sztucznych połączone z dyskusją nad możliwościami radiacyjnej modyfikacji polimerów. Organizatorzy planują omówienie następujących tematów:*

- Akceleratory elektronów, źródła promieniowania gamma. Prezentacja źródeł promieniowania jonizującego oraz pilotowej instalacji do sieciowania radiacyjnego kabli i przewodów elektrycznych
- Radiacyjne sieciowanie kabli i przewodów elektrycznych
- Radiacyjna konsolidacja powłok polimerowych
- Wytwarzanie pianek poliolefinowych
- Otrzymywanie rur i taśm termokurczliwych
- Radiacyjne sieciowanie rur przeznaczonych do transportu gorącej wody
- Odporność radiacyjna opakowaniowych materiałów w produkcji wyrobów medycznych, kosmetycznych i żywności
- Zastosowanie technik radiacyjnych do wulkanizacji opon i uszczelek
- Modyfikacja materiałów kompozytowych
- Wykorzystanie modyfikacji radiacyjnej polimerów w medycynie
- Szczepienie radiacyjne, modyfikacja powierzchniowa
- Sterylizacja farmaceutyków, kosmetyków i implantów chirurgicznych
- Konsolidacja radiacyjna drewna i obiektów o znaczeniu historycznym
- Aktualne możliwości stosowania obróbki radiacyjnej w Polsce i jej perspektywy
- Możliwości pozyskania funduszy w projektach przemysłowo-rozwojowych
- Aspekty ekonomiczne stosowania technik radiacyjnych

Szkolenie będzie również okazją do nawiązania nowych interdyscyplinarnych kontaktów przemysłowych i badawczo-rozwojowych pomiędzy specjalistami z sektorów polimerowego i technik radiacyjnych. Zapraszamy zarówno przedstawicieli przemysłu jak i naukowców. Koszt szkolenia: 200 zł. Każdy uczestnik dostanie oficjalny certyfikat szkolenia.

**Komitet naukowy:** prof. dr hab. Andrzej Chmielewski, dr inż. Zbigniew Zimek, dr inż. Marta Walo. Komitet organizacyjny: dr inż. Wojciech Głuszewski, dr hab. Hanna Lewandowska, mgr Wiktoria Baranowska.

Program szkolenia można znaleźć na stronie internetowej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej <http://www.ichtj.waw.pl/drupal/?q=node/1239>

**Rejestracja uczestników:** [h.lewandowska@ichtj.waw.pl](mailto:h.lewandowska@ichtj.waw.pl), [w.gluszewski@ichtj.waw.pl](mailto:w.gluszewski@ichtj.waw.pl)

Hanna Lewandowska-Siwkiewicz,  
kierownik Pracowni Radiacyjnej Modyfikacji Polimerów,  
Zastępca Kierownika Zakładu Naukowego – Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych  
Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa

# WYSTAWA W SEJMIE Z OKAZJI 20-LECIA Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych

WARSZAWA, 22 czerwca 2022



Na otwarciu wystawy obecni byli Wiceminister Piotr Dziadziuszko oraz przedstawiciele Departamentu Energii Jądowej MKiS



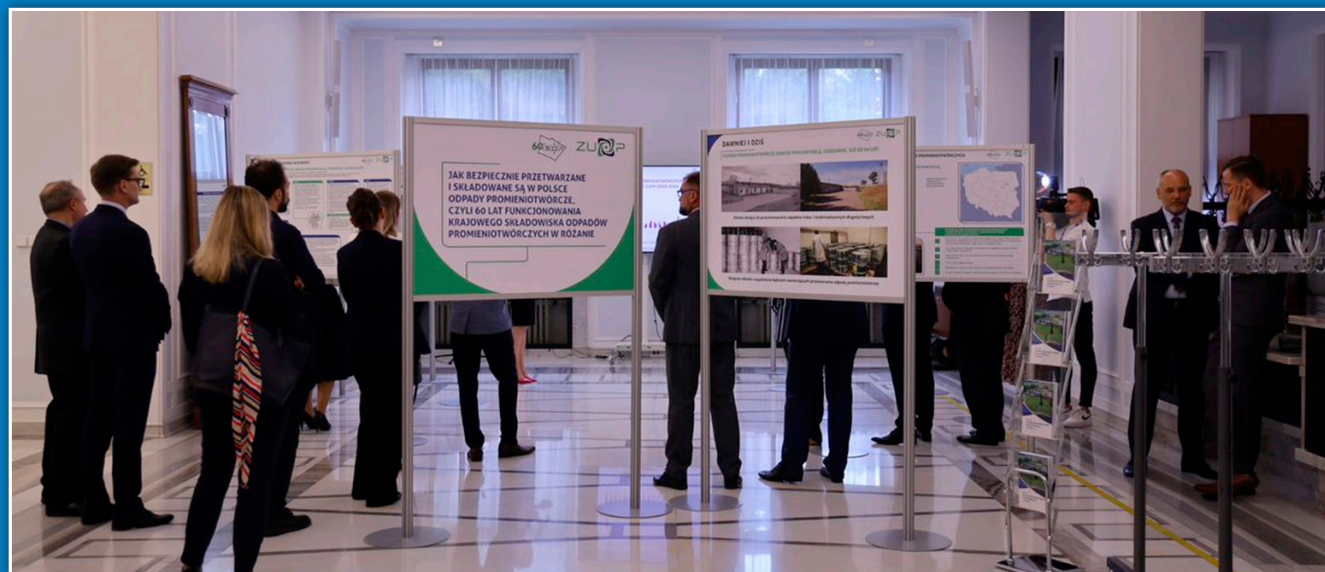
Aneta Korczyk, zastępca dyrektora Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych podczas swojego wystąpienia



Rozmowy w kularach



Zaproszeni goście



Widok na salę wystawową

# WYSTAWA NA KONFERENCJI INTERNATIONAL CONFERENCE ON APPLICATIONS OF RADIATION SCIENCE AND TECHNOLOGY

Wiedeń, 22-26 sierpnia 2022



Wystawa Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej. Od lewej stoją: dr hab. Krystyna Cieśla, dr Marta Walo, mgr Magda Rzepna, dr Moe Htwe (Myanmar), dr Dagmara Chmielewska



Jeden z korytarzy w siedzibie IEAE w Wiedniu



Dr hab. Yongxia Sun (z prawej) w rozmowie z uczestniczką konferencji



Dr Marta Walo i dr Moe Htwe (stypendystka IEAE w IChTJ)



Prof. dr hab. Andrzej Chmielewski i prof. Suresh D. Pillai (USA)