

# POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 63 Z. 3 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2020



## Elektrownie Jądrowe w Indiach

czytaj na str. 2

3-2020

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ  
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

## SPIS TREŚCI

INDIE - ATOMOWY MONSUN	
Piotr Leśny .....	2
ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKCJI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W URZĄDZENIACH PRZENOŚNYCH	
Andrzej Nowicki .....	10
SYSTEM ZABEZPIECZEŃ W REAKTORACH BADAWCZYCH	
Krzysztof Rzymkowski .....	16
ARC-NUCLÉART 50 LAT RADIACYJNEJ KONSERWACJI OBIEKTÓW O ZNACZENIU HISTORYCZNYM	
Laurent Cortella, Christophe Albino, Quoc Khoi Tran, Karine Froment, Wojciech Głuszewski .....	22
COVID-19 A NIEWIELKIE DAWKI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO	
Ludwik Dobrzyński .....	25
KONTAKTY JANA PAWŁA II Z FIZYKAMI	
Małgorzata Nowina Konopka .....	28
DONIESIENIA Z KRAJU .....	35
DONIESIENIA ZE ŚWIATA .....	39
WYDARZENIA .....	41
FELIETON	
ATOM NASZ POWSZEDNI: MAŁY, CZY DUŻY?	
Marek Bielski .....	43
IN MEMORIAM	
POŻEGNANIE	
PROF. DR HAB. ADAMA STRZAŁKOWSKIEGO .....	46
ZMARŁ HENRYK WUJEC .....	47



Kwartalnik naukowo-informacyjny  
Postępy Techniki Jądrowej

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

Kontakt Telefoniczny:  
Tel. 22 504 12 48  
Fax.: 22 811 15 32

Redaktor naczelny:  
Stanisław Latek  
S.Latek@ichtj.waw.pl

Komitet redakcyjny:  
Wojciech Głuszewski  
Maria Kowalska  
Marek Rabiński  
Edward Rurarz  
Łukasz Sawicki  
Elżbieta Zalewska

Współpracują z nami:  
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 odrzucane.

Prenumerata  
Zamówienia na prenumeratę kwartalnika  
POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ  
należy składać na adres redakcji jak wyżej.  
Wpłaty proszę przekazać na konto:  
Bank Pekao SA,  
45 1240 3480 1111 0000 4278 2935  
Koszt prenumeraty rocznej  
(4 zeszyty łącznie z kosztami przesyłki) wynosi 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. Toruńska 148, 87-800 Włocławek

## Szanowni Państwo

Pisząc swoje wstępne teksty do poszczególnych numerów naszego czasopisma, staram się komentować wydarzenia, lub wypowiedzi polityków na temat przyszłości energetyki jądrowej w Polsce. W poprzednim numerze przytoczyłem wypowiedzi pełnomocnika rządu ds. strategicznej infrastruktury energetycznej Piotra Naimskiego oraz prezesa PGE Wojciecha Dąbrowskiego. Przytoczone wypowiedzi nie były optymistyczne.

W tym numerze informujemy o wydarzeniu bardziej optymistycznym. Otóż 6 sierpnia 2020 r. Ministerstwo Klimatu skierowało do konsultacji publicznych projekt uchwały Rady Ministrów w sprawie aktualizacji wieloletniego „Programu polskiej energetyki jądrowej”. Uwagi do dokumentu można było zgłaszać do 21 sierpnia br. Jak podkreślają autorzy dokumentu, celem „Programu polskiej energetyki jądrowej” (PPEJ) jest budowa w Polsce od 6 do 9 GWe zainstalowanej mocy jądrowej w oparciu o sprawdzone, wielkoskalowe, wodne ciśnieniowe reaktory jądrowe generacji III i III+. Od przyjęcia pierwszej wersji PPEJ w 2014 r. uzasadnienie do wdrożenia energetyki jądrowej nie zmieniło się. Opiera się ono na trzech filarach: bezpieczeństwo energetyczne, klimat i środowisko, ekonomia.

Wewnątrz numeru znajdują Państwo obszernie fragmenty wprowadzenia do znowelizowanej wersji PPEJ oraz omówienie polemiki na temat zaktualizowanego PPEJ pomiędzy prof. Akademią Górniczo-Hutniczej Ludwikiem Pieńkowskim i prezesem Obywatelskiego Ruchu na rzecz Energetyki Jądrowej Jerzym Lipką. Pełne teksty artykułów polemizujących autorów opublikował portal WysokieNapięcie.

Kolejną optymistyczną informacją dotyczy projektu Polityki Energetycznej Państwa do roku 2040. Przedstawił go dziennikarzem w dniu 7 września br. minister klimatu Michał Kurtyka.

Podobnie jak w PPEJ, PEP 40 przewiduje, że w roku 2033 uruchomiony zostanie pierwszy blok elektrowni jądrowej o mocy ok. 1-1,6 GW. Kolejne bloki będą wdrażane co 2-3 lata, a cały program jądrowy zakłada budowę 6 bloków.

Teraz tylko to zrealizować...

Pierwszy artykuł w bieżącym numerze dotyczy energetyki jądrowej w Indiach. Indie, a właściwie Republika Indii jest w tej chwili jednym z najszybciej rozwijających pokojowy program energetyki jądrowej krajów na świecie. W tej chwili indyjskie inwestycje w tej dziedzinie są porównywalne do tych w Chinach, choć najprawdopodobniej jeszcze ich nie przewyższyły. Jest to ciekawy program jądrowy, z interesującą strategią wyboru technologii jądrowych. W artykule przedstawiono w sposób przekrojowy indyjski program jądrowy, jak i zainteresowane nim strony. Rozwój indyjskiej technologii jądrowej to także gwałtowny rozwój indyjskiej gospodarki – informacje zawarte w artykule mogą być więc interesujące również dla osób, które nie zajmują się zawodowo energetyką jądrową.

Autorem omawianego artykułu jest Piotr Leśny, który wcześniej opublikował w naszym czasopiśmie teksty zatytułowane: „Atomowa Australia”, „Energetyka jądrowa...po chińsku” oraz „Rosja poza granicami...”

Kolejny artykuł zatytułowany „Zaawansowane technologie detekcji promieniowania jonizującego w urządzeniach przenośnych” przygotował dla nas dr Andrzej Nowicki. W tekście artykułu zasygnalizowano aktualne tendencje w konstrukcji przenośnych urządzeń do pomiaru promieniowania jonizującego pozwalające na miniaturyzację detektorów przy równoczesnym zwiększeniu ich możliwości pomiarowych. Prezentowane rozwiązania techniczne w zakresie detekcji promieniowania jonizującego, w tym neutronowego, umożliwiają budowę przenośnych przyrządów radiometrycznych o niespotykanych wcześniej możliwościach pomiarowych, w wielu wariantach i rozwiązaniach koncepcyjnych.

„System zabezpieczeń w reaktorach badawczych” to tytuł artykułu naszego stałego autora Krzysztofa Rzymkowskiego. Warto zwrócić uwagę na ważną konkluzję artykułu, która brzmi: „W opracowaniu przedstawiono «klasyczne» rozwiązania systemu zabezpieczeń stosowane obecnie w reaktorach badawczych. Ponieważ testowane są zupełnie nowe propozycje budowy reaktorów, muszą być opracowywane nowe i dokładniejsze metody weryfikacji dla na razie rzadkich rozwiązań, jak np. reaktorów z rdzeniem kulowym, reaktorów z ciekłymi solami, czy dla projektowanych reaktorów modularnych”.

Artykuł zatytułowany „ARC-NUCLÉART 50 lat radiacyjnej konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym” powstał z okazji 50 rocznicy utworzenia radiacyjnego laboratorium badawczego i profesjonalnej pracowni konserwacji dzieł sztuki ARC-NucleArt

(Atelier de Recherche et de Conservation Nucléart). Przypomniał on historię tej zasłużonej dla ratowania obiektów historycznych placówki. Jest ona pionierem w zastosowaniu technik radiacyjnych do dezynsekcji, dezynfekcji i konsolidacji. Krótko omówiono zasady wykorzystania promieniowania jonizującego do ratowania zagrożonych insektami, grzybami i bakteriami obiektów archeologicznych i dzieł sztuki. Autorami publikowanego materiału są pracownicy ARC-NucleArt oraz dr Wojciech Głuszewski.

Prof. Ludwik Dobrzyński przygotował dla nas bardzo aktualny tekst: „COVID-19 a niewielkie dawki promieniowania jonizującego”. Jak wiadomo COVID-19 jest, jak dotąd, chorobą, na którą nie mamy lekarstwa ani szczepionek. Pan Profesor pisze w streszczeniu: „Niniejsza praca sugeruje, że w sytuacji beznadziejności, gdy umiera wielu ludzi, warto sięgnąć do metod sprawdzonych kilkadziesiąt lat temu, a mianowicie użycia niskich dawek promieniowania jonizującego. Pierwsze doświadczenia kliniczne są zachęcające i stosunkowo wiele ośrodków medycznych wyraża zainteresowanie taką techniką”.

Ostatni tekst w części artykułowej bieżącego numeru opisuje „Kontakty Jana Pawła II z fizykami”. Nasza współpracowniczka z Krakowa, Małgorzata Nowina Konopka, w setną rocznicę urodzin św. Jana Pawła II przypomina początki jego działalności duszpasterskiej wśród krakowskich studentów i młodych fizyków. Wycieczki narciarskie i piesze w góry, spotkania w domach prywatnych, a przede wszystkim dyskusje filozoficzne stanowiły dla uczestników tych wydarzeń niezatarte przeżycie. Ich kontynuacja w formie seminariów zatytułowanych Nauka – Religia – Dzieje była czymś absolutnie niezwykłym nie tylko dla poszczególnych osób, ale na skalę wielkich problemów decydujących o specyfice ludzkiej kultury. Warto więc choćby w krótkich słowach przybliżyć tamte klimaty. Artykuł ilustrowany jest wieloma zdjęciami. Zachęcam też do obejrzenia zdjęć na okładce naszego czasopisma.

W dalszej części numeru znajdują Państwo relację ze spotkania naukowców IChTJ z Janem Pawłem II, które miało miejsce w Watykanie w roku 1988.

Jednak część informacyjną numeru otwiera tekst o historii konferencji NUTECH.

W tym roku, w dniach 4-7 października, po raz piąty organizowana jest międzynarodowa konferencja NUTECH: „Recent development and applications of nuclear technologies”. Kontynuuje ona krajowe sympozja „Technika jądrowa w przemyśle, medycynie, rolnictwie i ochronie środowiska”. Pierwsze spotkanie zostało zorganizowane 60 lat temu w dniach 8-12 czerwca w Rogowie. Był to okres burzliwego rozwoju technik jądrowych na świecie. Intensywnie badano możliwości praktycznego wykorzystania energii nuklearnej w energetyce i poza nią. Technologia radiacyjne i radiochemiczne zastosowane w wielu dziedzinach, a przychody z tego tytułu były porównywalne z energetyką jądrową. O tegorocznej konferencji szczegółowiej napisano w odrębnym tekście.

Kolejne doniesienia dotyczą aktualizacji Polskiego Programu Energetyki Jądrowej. Przytaczamy fragment wspomnianej już wcześniej polemiki z portalu Wysokie Napięcie między Ludwikiem Pieńkowskim a Jerzym Lipką.

Jako doniesienie ze świata znajdują Państwo fragment tekstu z blogu amerykańskiego sekretarza ds. energii z dnia 21 sierpnia br. na temat niezależności energetycznej USA. „Aby zabezpieczyć korzyści gospodarcze i bezpieczeństwo energetyczne, Stany Zjednoczone muszą przodować w dziedzinie innowacji jądrowych”, pisze Dan Brouillette”.

W części kwartalnika poświęconej prezentacji istotnych z naszego punktu widzenia wydarzeń publikujemy informację o zakończeniu naszej – PTJ-tu – kilkudziesięcioletniej współpracy z dr. Edwardem Rurarzem.

Nasz nowy felietonista Marek Bielski tym razem podejmuje modny temat – duży, czy mały atom dla Polski.

Podobnie jak w poprzednich numerach naszego czasopisma publikujemy informacje/wspomnienia o Zmarłych. Tym razem wspomniamy pana prof. Adama Strzałkowskiego oraz mojego bliskiego Kolegę, fizyka, działacza społecznego i polityka – Henryka Wujca.

Na koniec jak co kwartał, moje życzenia. Po pięknym wręcz upalnym lecie, życzę spokojnej, złotej jesieni. I oby nie dokuczał nam koronawirus!

Stanisław Latek,  
red. naczelny

# INDIE - ATOMOWY MONSUN

## *India - the nuclear monsoon*

Piotr Leśny

**Streszczenie:** Indie, a właściwie Republika Indii jest w tej chwili jednym z najszybciej rozwijających pokojowy program energetyki jądrowej krajów na świecie. W tej chwili indyjskie inwestycje w tej dziedzinie są porównywalne do tych w Chinach, choć najprawdopodobniej jeszcze ich nie przewyższyły. Jest to ciekawy program jądrowy, z interesującą strategią wyboru technologii jądrowych. W artykule przedstawiono w sposób przekrojowy indyjski program jądrowy, jak i zainteresowane nim strony. Rozwój indyjskiej technologii jądrowej to także gwałtowny rozwój indyjskiej gospodarki – informacje zawarte w artykule mogą być więc interesujące również dla osób, które nie zajmują się zawodowo energetyką jądrową.

**Abstract:** India, or rather the Republic of India, is currently one of the fastest developing countries in the world to develop a peaceful nuclear energy program. At the moment, Indian investments in this area are comparable to those in China, although most likely they have not yet exceeded them. It is an interesting nuclear program with an interesting strategy for selecting nuclear technologies. This article presents a cross-sectional overview of India's nuclear program and its stakeholders. The development of Indian nuclear technology is also a rapid development of the Indian economy – the information contained in the article may therefore also be interesting for people who are not professionally involved in nuclear energy.

**Słowa kluczowe:** Republika Indii, indyjski program jądrowy, NPCIL Nuclear Power Corporation of India Limited, AERB Atomic Energy Regulatory Board, BHAVINI (Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Limited)

**Keywords:** Republic of India, the Indian nuclear program, NPCIL Nuclear Power Corporation of India Limited, AERB Atomic Energy Regulatory Board, BHAVINI (Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Limited)

Jak podaje Encyklopedia PWN: „monsun [arab.] — wiatr sezonowy, wiejący w ciepłej porze roku nad morza na ląd, a w porze chłodnej — w kierunku przeciwnym; wraz ze zmianą kierunku następuje nagła zmiana pogody; m. zimowemu (lądowemu) towarzyszy przeważnie pogoda sucha, o małym zachmurzeniu, z rzadka występującymi opadami; m. letniemu (mor.) — deszczowa (ulewne zwykle opady powodują niekiedy katastrofalne skutki); m. są wywołane sezonowymi

zmianami ciśnienia atmosferycznego nad kontynentem i oceanem (w ciepłej porze roku nad lądem panuje niskie ciśnienie, a nad oceanem wysokie, w chłodnej porze roku — przeciwnie); najsilniej wykształcony system cyrkulacji monsunowej występuje w południowej i południowo-wschodniej Azji; do m. bywają także zaliczane podobne wiatry południowo-wschodniej Afryki Równikowej, północnej Australii oraz słabsze i mniej regularne wiatry południowego wybrzeża Alaski,



Fot. 1. Monsun. Fotografia autora

Photo 1. Monsoon. Author's photo

oraz północnej Kanady, północno-wschodniej Europy i północnej Syberii". Na ogół jest to bardzo dynamiczne zjawisko pogodowe o gwałtownej sile. Tu zdjęcie monsunu (nie należy lekceważyć tego zjawiska-w dwie minuty po zauważeniu pierwszej chmury, co wykazało praktyczne doświadczenie autora, jest się mokrym do ostatniej nitki).

Nic dziwnego, że gwałtowny rozwój krajów basenu Oceanu Indyjskiego niektórzy eksperci porównują do tego zjawiska. Przykładowo Robert Kaplan w książce „Monsun. Ocean Indyjski i przyszłość amerykańskiej dominacji” wieszczy przesunięcie centrum rozwoju świata w kierunku Oceanu Indyjskiego. W tym opracowaniu opisana będzie pewna część tego „monsunu” – Indie i ich przemysł jądrowy. W tym momencie jest to drugi po Chinach najszybciej rozwijający się przemysł jądrowy świata. W przeciwieństwie do chińskiego smoka ekspansja indyjskiego tygrysa jest bardziej dyskretna i znacznie mniej znana (tzn. powstało mniej opraco-

wań). Zważywszy jednak, że według wierzeń Dalekiego Wschodu tylko tygrys może ze wszystkich zwierząt w bezpośredniej walce pokonać ...smoka, warto indyjski program jądrowy przybliżyć.

### Indyjska energetyka jądrowa

Indyjskie elektrownie jądrowe produkują nieco ponad 3% energii elektrycznej w swoim kraju. Liczba ta może nie imponuje na pierwszy rzut oka jednakże: Indie są trzecim konsumentem energii elektrycznej świata po USA i Chinach (co już dużo mówi o indyjskiej potędze przemysłowej), a ponadto w liczbach bezwzględnych... pracują 22 bloki energetyczne, co czyni Indie siódmym, jeżeli chodzi o liczbę reaktorów energetycznych krajem na świecie i siedem w budowie, co czyni drugim krajem pod względem ilości inwestycji.

Większość bloków energetycznych w Indiach stanowią reaktory ciężkowodne typu CANDU.

**Tabela 1.** World Nuclear Association. Bloki jądrowe w eksploatacji w Indiach. (Horizontal Pressure Tube Type – to ciężkowodne reaktory typu CANDU w indyjskiej wersji)

**Table 1.** World Nuclear Association. Nuclear reactors in operation in India (Horizontal Pressure Tube Type - these are CANDU type heavy water reactors in the Indian version)

Nazwa	Model	Typ reaktora	Moc (MWe)
<a href="#">Kaiga 1</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Kaiga 2</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Kaiga 3</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Kaiga 4</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Kakrapar 1</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Kakrapar 2</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Kudankulam 1</a>	VVER V-412	PWR	932
<a href="#">Kudankulam 2</a>	VVER V-412	PWR	932
<a href="#">Madras 1</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	205
<a href="#">Madras 2</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	205
<a href="#">Narora 1</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Narora 2</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Rajasthan 1</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	90
<a href="#">Rajasthan 2</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	187
<a href="#">Rajasthan 3</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Rajasthan 4</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Rajasthan 5</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Rajasthan 6</a>	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	202
<a href="#">Tarapur 1</a>	BWR-1 (Mark 2)	BWR	150
<a href="#">Tarapur 2</a>	BWR-1 (Mark 2)	BWR	150
<a href="#">Tarapur 3</a>	Horizontal Pressure Tube Type	PHWR	490
<a href="#">Tarapur 4</a>	Horizontal Pressure Tube Type	PHWR	490

**Tabela 2.** World Nuclear Association. Budowane bloki jądrowe w Indiach  
**Table 2.** World Nuclear Association. Constructed nuclear power plants in India

Nazwa reaktora	Model	Typ reaktora	Projektowana moc MWe
Kakrapar 3	PHWR-700	PHWR	700
Kakrapar 4	PHWR-700	PHWR	700
Kudankulam 3	WWER V-491	PWR	1000
Kudankulam 4	WWER V-491	PWR	1000
PFBR	Prototyp	FBR	500
Rajasthan 7	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	700
Rajasthan 8	Horizontal Pressure Tube type	PHWR	700

### Rozmieszczenie energetycznych reaktorów jądrowych



**Fot. 2.** Mapa. World Nuclear Association. Rozmieszczenie energetycznych reaktorów jądrowych w Indiach  
**Photo 2.** Map. World Nuclear Association. Distribution of nuclear power reactors in India

Do potencjału cywilnego programu jądrowego można zaliczyć jeszcze 5 reaktorów badawczych, ponadto planowana jest budowa dalszych dwóch.

Indyjskie plany są jednak znacznie bardziej ambitne. Jak podawał w zeszłym roku Biznesalert, Indie zbudują ponadto 22 reaktory jądrowe tu cytat: „W marcu 2018 r. francuski koncern EDF i Nuclear Power Corporation of India Ltd (NPCIL) zawarły porozumienie w sprawie budowy sześciu reaktorów EPR w elektrowni Jaitapur. Prace przy budowie elektrowni mają rozpocząć

się na początku 2019 r., dysponując docelową mocą 10 GWe, będzie to największy projekt jądrowy realizowany obecnie na świecie. W październiku 2018 r. Rosja i Indie podpisały porozumienie w sprawie zwiększenia współpracy w dziedzinie energii jądrowej, które zakłada między innymi budowę kolejnych sześciu bloków jądrowych WWER-1200 w nowej lokalizacji Kavali w stanie Andhra Pradesh. Równolegle toczą się dyskusje na temat propozycji budowy sześciu reaktorów Westinghouse AP-1000 o mocy 1250 MWe w Kōvvada w stanie

**Tabela 3.** RRDB (Research Reactor Database) IAEA. Reaktory badawcze w Indiach**Table 3.** RRDB (Research Reactor Database) IAEA. Research reactors in India

Nazwa reaktora	Typ	Moc(kW)	Status
High Flux RR	Basenowy	40000.0000	Planowany
Thermal RR	Basenowy	125000.0000	Planowany
Apsara-U	Basenowy	2000.0000	Pracujący
Dhruva	Ciężkowodny	100000.0000	Pracujący
FBTR	Powielający	40000.0000	Pracujący
KAMINI	U-233 jako paliwo	30.0000	Pracujący
Critical Facility for AHWR and PHWR	Zbiornikowy	0.1000	Pracujący

Andhra Pradesh". Plany są czasami rzeczą dość mglistą. Jak wygląda ich realizacja w Indiach, najlepiej podają oficjalne dane indyjskiego dozoru jądrowego. Dane dotyczą tych reaktorów jądrowych i zakładów cyklu paliwowego, wobec których indyjski dozór jądrowy prowadzi już postępowanie administracyjne, czyli trwa właśnie proces wydawania zgody na lokalizację, budo-

wę, rozruch czy eksploatację. Zaznaczmy, nie są wymienione tu jeszcze np. projekty rosyjskie i amerykańskie tylko te projekty inwestycji jądrowych, które są na tyle zaawansowane, że w tej czy innej formie prace już trwają. Ta tabela informuje, że w Indiach właśnie w różnym stopniu zaawansowania prowadzone są 22 inwestycje dotyczące obiektów jądrowych.

**Tabela 4.** Projekty jądrowe w Indiach według indyjskiego dozoru jądrowego. AERB Atomic Energy Regulatory Board**Table 4.** Nuclear projects in India according to the Indian nuclear regulatory body. AERB Atomic Energy Regulatory Board

L.p	Nazwa obiektu jądrowego	Lokalizacja	Moc MWe	Typ	Status
1.	Jaitapur Nuclear Power Project (JNPP-1)	Jaitapur, Maharashtra	1600	EPR	Lokalizacja
2.	Jaitapur Nuclear Power Project (JNPP-2)	Jaitapur, Maharashtra	1600	EPR	Lokalizacja
3.	Jaitapur Nuclear Power Project (JNPP-3)	Jaitapur, Maharashtra	1600	EPR	Lokalizacja
4.	Jaitapur Nuclear Power Project (JNPP-4)	Jaitapur, Maharashtra	1600	EPR	Lokalizacja
5.	Jaitapur Nuclear Power Project (JNPP-5)	Jaitapur, Maharashtra	1600	EPR	Lokalizacja
6.	Jaitapur Nuclear Power Project (JNPP-6)	Jaitapur, Maharashtra	1600	EPR	Lokalizacja
7.	Gorakhpur Haryana Anu Vidyut Pariyojna (GHAVP-1)	Gorakhpur, Haryana	700	PHWR	Lokalizacja
8.	Gorakhpur Haryana Anu Vidyut Pariyojna (GHAVP-2)	Gorakhpur, Haryana	700	PHWR	Lokalizacja
9.	Gorakhpur Haryana Anu Vidyut Pariyojna (GHAVP-3)	Gorakhpur, Haryana	700	PHWR	Lokalizacja
10.	Gorakhpur Haryana Anu Vidyut Pariyojna (GHAVP-4)	Gorakhpur, Haryana	700	PHWR	Lokalizacja
11.	Kakrapar Atomic Power Project (KAPP-3)	Kakrapar, Gujarat	700	PHWR	Budowa
12.	Kakrapar Atomic Power Project (KAPP-4)	Kakrapar, Gujarat	700	PHWR	Budowa
13.	Rajasthan Atomic Power Project (RAPP-7)	Rawatbhata, Rajasthan	700	PHWR	Budowa
14.	Rajasthan Atomic Power Project (RAPP-8)	Rawatbhata, Rajasthan	700	PHWR	Budowa
15.	Kudankulam Nuclear Power Project (KKNPP-3)	Kudankulam, Tamil-Nadu	1000	PWR	Budowa
16.	Kudankulam Nuclear Power Project (KKNPP-4)	Kudankulam, Tamil-Nadu	1000	PWR	Budowa
17.	Prototype Fast Breeder Reactor (PFBR)	Kalpakkam, Tamil Nadu	500	FBR (prototyp)	Rozruch
18.	Demonstration Fast Reactor Fuel Reprocessing Plant (DFRP)	Kalpakkam, Tamil Nadu	--	Zakłady cyklu paliwowego	Budowa
19.	Fast Reactor Fuel Cycle Facility (FRFCF)	Kalpakkam, Tamil Nadu	--	Zakłady cyklu paliwowego	Budowa
20.	Kudankulam Nuclear Power Project (KKNPP-5)	Kudankulam, Tamil Nadu	1000	PWR	Lokalizacja
21.	Kudankulam Nuclear Power Project (KKNPP-6)	Kudankulam, Tamil Nadu	1000	PWR	Lokalizacja
22.	Nuclear Fuel Complex - Kota (NFC-Kota)	Rawatbhata, Rajasthan	--	Zakłady cyklu paliwowego	Budowa

Według „The Economic Times. India Times” negocjacje między Westinghouse a indyjskim operatorem NPCIL w sprawie sześciu AP-1000 dotyczą przede wszystkim cen za produkcję energii elektrycznej i rodzaju modelu AP-1000, który ma być oferowany Indiom. Hindusi nie zgadzają się na model, który został zbudowany w Chinach i chcą, aby wybudowano u nich wersje, które zbudowano w Stanach Zjednoczonych. Dyskusje dotyczą również kwestii odszkodowań i ubezpieczeń od dostawców. Co do Rosjan to nuklearne interesy rosyjsko-indyjskie są wyjątkowo szerokie i stanowią oddzielne zagadnienie, które wymagałoby analizy przez ekspertów. Rosjanie budują i planują budowę reaktorów jądrowych w Indiach, dostarczają paliwo do działających elektrowni jądrowych, negocjują budowę dużych komponentów jądrowych w Indiach (co wymaga odpowiednich instalacji przemysłowych) dla krajów trzecich np. rynki afrykańskie, negocjują dostawy mobilnych, kontenerowych informatycznych centrów danych budowanych przez ROSATOM etc. Ponadto ROSATOM zachęca Hindusów do wspólnych przedsięwzięć na rynku SMR — małych reaktorów jądrowych. W tej chwili Indie są dla wszystkich nuklearnych gigantów: Francji, Rosji i Stanów Zjednoczonych wyjątkowo atrakcyjnym, ale i wymagającym rynkiem zbytu.

### Indyjski Dozór Jądrowy

Przedstawienie Indyjskiego Dozoru Jądrowego w przejrzysty sposób jest dość skomplikowanym zagadnieniem. Funkcję dozoru jądrowego pełni bowiem Atomic Energy Regulatory Board (AERB) – czyli Rada ds. Regulacji Energii Jądrowej. Podstawą prawną jej funkcjonowania jest indyjska ustawa o energii atomowej z 1962 r. – indyjski odpowiednik polskiego Prawa atomowego. AERB utworzono w 1983 r. jako agencję do sprawowania funkcji regulacyjnych i bezpieczeństwa określonych w tej ustawie.

Treść aktu utworzenia AERB.

- „SO.4772 – Korzystając z uprawnień przyznanych na mocy sekcji 27 ustawy o energii atomowej z 1962 r. (33 z 1962 r.) oraz wszystkich innych uprawnień umożliwiających mu w tym imieniu, prezydent tworzy Radę ds. Regulacji Energii Atomowej (AERB) do wykonywania funkcji regulacyjnych oraz bezpieczeństwa przewidzianych w sekcji 16, 17 i 23 ustawy; Rada składa się z członków zatrudnionych w pełnym i niepełnym wymiarze godzin. Rada ma pełnoetatowego przewodniczącego i pełnoetatowego członka-sekretarza. Całkowita liczba członków, w tym Przewodniczącego i Sekretarza, nie może przekraczać pięciu. Zarząd odpowiada przed Komisją Energii Atomowej. Rada ds. Regulacji Energii Atomowej jest uprawniona do ustanawiania norm bezpieczeństwa oraz określania zasad i przepisów dotyczących wymagań regulacyjnych i bezpieczeń-

stwa przewidzianych w ustawie o energii atomowej z 1962 r. Funkcje Rady Regulacyjnej ds. Energii atomowej obejmują:

- opracowywanie kodów, wytycznych i standardów dotyczących lokalizacji, projektowania, budowy, rozruchu, eksploatacji, likwidacji różnych typów instalacji jądrowych, z uwzględnieniem międzynarodowych zaleceń i krajowych wymagań;
- opracowanie polityki bezpieczeństwa zarówno w zakresie promieniowania, jak i bezpieczeństwa przemysłowego.

Ponadto AERB powinna zapewnić zgodność wymagań z normami bezpieczeństwa DAE (Departamentu Energii Atomowej) i instalacji innych niż DAE na poszczególnych etapach działalności obiektu jądrowego. Rada powinna doradzać AEC (Komisja Energii Atomowej)/DAE w kwestiach technicznych, które mogą być konkretnie do niej skierowane w związku z lokalizacją, projektowaniem, budową, uruchomieniem, eksploatacją, wycofaniem z eksploatacji i likwidacją obiektów jądrowych. Do obowiązków Rady należą ponadto: przegląd wniosków dotyczących bezpieczeństwa w odniesieniu do autoryzacji, uruchomienia, eksploatacji projektów, instalacji dla DAE. Przed udzieleniem zezwolenia na uruchomienie, eksploatację obiektu jądrowego AERB wymaga sprawdzenia: raportu końcowego z analizy projektu przygotowany przez zakład projektowy; raportu z rozruchu i wyników testu; projektów procedur operacyjnych oraz limitów i warunków operacyjnych; udowodnienia, że zakład/projekt może być eksploatowany bez zbędnego ryzyka dla personelu obsługującego i ludności. W tym celu AERB może poprosić o odpowiednie dodatkowe informacje uzupełniające.

### Atomic Energy Regulatory Board – organizacja

- Operating Plant Safety Division OPSD – Departament Bezpieczeństwa Eksploatacji Elektrowni Jądrowych
- Nuclear Projects Safety Division NPSD – Departament Bezpieczeństwa Projektów Jądrowych
- Radiological Safety Division RSD – Departament Ochrony Radiologicznej
- Nuclear Safety Analysis Division NSAD – Departament Analiz Bezpieczeństwa Jądrowego
- Resources & Documentation Division R&DD – Departament Zasobów i Dokumentacji
- Directorate of Regulatory Inspection DRI – Dyrektorat Inspekcji Dozorowych
- Directorate of Regulatory Affairs & Communications DRA&C – Dyrektorat Spraw Zagranicznych i Komunikacji
- Directorate of Radiation Protection & Environment DRP&E – Dyrektorat Ochrony Radiologicznej i Środowiska.



Inspektorzy AERB podczas budowy elektrowni jądrowej przeprowadzają od 1 do 4 kompleksowych inspekcji rocznie, a w trakcie eksploatacji jak podaje oficjalna strona AERB od 1 do 7. Ponadto inspektorzy AERB przeprowadzają kontrole z zakresu ochrony radiologicznej (źródła promieniotwórcze). AERB w działalności dozorowej jest ściśle związana z dwiema innymi instytucjami: Departamentem Energii Atomowej DAE i Komisją Energii Atomowej AEC.

### Departament Energii Atomowej

Departament Energii Atomowej (DAE) powstał 3 sierpnia 1954 r. na mocy zarządzenia prezydenta Indii. Działa pod bezpośrednim nadzorem premiera Indii. Zgodnie z rezolucją stanowiącą AEC, Sekretarz Rządu Indii w Departamencie Energii Atomowej jest z urzędu Przewodniczącym Komisji Energii Atomowej. DAE jest zaangażowana w rozwój technologii energetyki jądrowej, zastosowania technologii radiacyjnych w rolnictwie, medycynie, przemyśle i badaniach podstawowych. DAE obejmuje pięć centrów badawczych, trzy organizacje przemysłowe, pięć przedsiębiorstw sektora publicznego i trzy organizacje usługowe. Pod jego egidą działają dwie rady ds. Promocji i finansowania badań niestacjonarnych w dziedzinie jądrowej i pokrewnych, matematyki oraz instytutu krajowego (uznanego za uniwersytet). Wspiera również osiem instytutów o międzynarodowej renomie zajmujących się badaniami nauk podstawowych, astronomii, astrofizyki, badań nad rakiem i edukacji. Ma także pod swoją opieką towarzystwo edukacyjne, które zapewnia placówki edukacyjne dla dzieci pracowników DAE.

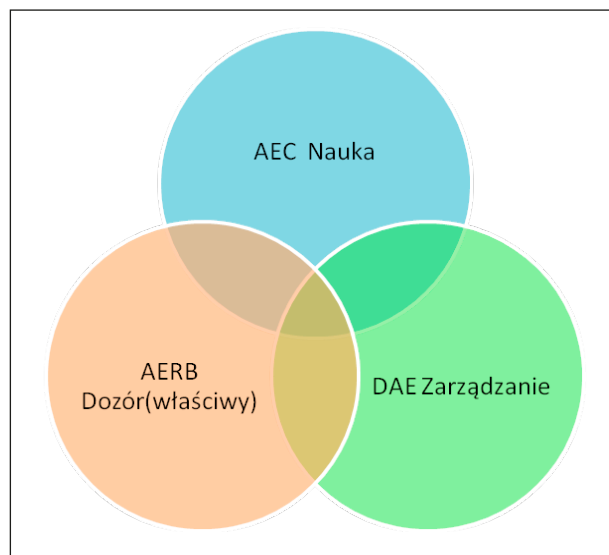
### Komisja Energii Atomowej

Indyjska Komisja Energii Atomowej (AEC) została utworzona w sierpniu 1948 r. W tej chwili stanowi część DAE – jej zadaniem jest ogólnie pojęta atomistyka jako nauka, czyli organizacja badań jądrowych w Indiach i szkolenie naukowców atomistów. W jej gestii jest pięć indyjskich centrów badawczych.

- Bhabha Atomic Research Centre (BARC) Bombaj
- Indira Gandhi Centre for Atomic Research (IGCAR), Kalpakkam (Tamil Nadu)
- Raja Ramanna Centre for Advanced Technology (RR-CAT), Indore
- Variable Energy Cyclotron Centre (VECC), Kalkuta
- Atomic Minerals Directorate for Exploration and Research (AMD), Hajdarabad.

AEC jest instytucją najstarszą. Ma pod nadzorem zarząd AERB i stanowi część DAE, ale ...trochę na zasadzie unii personalnej. Jak za Pierwszej Rzeczypospolitej – Król Polski był jednocześnie Wielkim Księciem Litewskim, jeżeli można użyć tego porównania. Tak i tu Sekretarz

jest jednocześnie Przewodniczącym. Nie wchodząc w zawiłości indyjskiego systemu prawnego, generalnie dozór jądrowy w Indiach można przedstawić tak jak na wykresie poniżej.



**Rys. 1.** Zależności indyjskich instytucji jądrowych w działaniach dozorowych i administracyjnych

**Fig. 1.** The dependencies of Indian nuclear institutions in regulatory and administrative activities

Zasadniczo w rzeczywistości sytuacja jest trochę bardziej skomplikowana, bo każda z tych instytucji np. prowadzi własną działalność naukową (AERB w Instytucie Badań Bezpieczeństwa w Kalpakkam) do tego dochodzą uwarunkowania lokalne. Indie to 28 stanów, 7 terytoriów związkowych no i Delhi. Ludność zbliża się do półtora miliarda osób, które posługują się ponad czterystu językami (poza hindi i angielskim 21 oficjalnych urzędowych). Siłą rzeczy w tak krótkim opracowaniu można tylko pobieżnie zaznaczyć podstawowe zagadnienia.

### Nuclear Power Corporation of India Limited – właściciel indyjskich elektrowni jądrowych

Właścicielem całego sektora energetyki jądrowej w Indiach jest państwo, elektrowniami zarządza Nuclear Power Corporation of India Limited (NPCIL), które jest przedsiębiorstwem sektora publicznego pod kontrolą administracyjną Departamentu Energii Atomowej (DAE). Spółka została zarejestrowana jako spółka z ograniczoną odpowiedzialnością (zgodnie z Ustawą o spółkach z 1956 r.) we wrześniu 1987 r. w celu prowadzenia elektrowni jądrowych i realizacji projektów energii atomowej do wytwarzania energii elektrycznej zgodnie z programami rządu Indii na mocy Ustawy o energii atomowej z 1962 r. NPCIL ma także udziały kapitałowe w BHAVINI (Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Limited) przedsiębiorstwie pod kontrolą administracyjną

na Departamentu Energii Atomowej (DAE), który wdraża program Fast Breeder Reactors (reaktorów powielających na neutrony szybkie). W Indiach aktualnie trwa budowa reaktorów w Kalpakkam (Unit 1 & 2). Indyjskie media mówią o dwóch jednostkach, choć często podaje się jeden FBR o mocy 500 MWe.

ponadto BHAVINI jako część DAE. Nie będąc Hindusem trudno te indyjskie kwestie administracyjno-organizacyjne zrozumieć. Co do NPCIL sprawa jest jasna: odpowiada za projektowanie, budowę, uruchomienie i eksploatację energetycznych reaktorów jądrowych. NPCIL eksploatuje obecnie 22 komercyjne reaktory jądrowe o mocy zainstalowanej 6780 MW. Flota reak-



**Overall view of Turbine & Nuclear Island Connected Building**

**Fot. 2.** (BHAVINI) Budowa reaktorów w Kalpakkam. Według planów ma być wybudowanych 6 reaktorów powielających  
**Photo 2.** (BHAVINI) Construction of reactors at Kalpakkam. According to the plans, 6 Fast Breed Reactors are to be built



**Fot. 3.** Kompleks jądrowy Kaiga  
**Photo 3.** Kaiga nuclear complex ([www.ndtv.com](http://www.ndtv.com) india news)



**Fot. 4.** Elektrownia jądrowa Kudankulam. Budowa  
**Photo 4.** Kudankulam nuclear power plant. Construction. Strona ([www.powertechnology.com](http://www.powertechnology.com)) IAEA Imagebank

Dlatego tak trudno określać zależności między indyjskimi organizacjami i instytucjami. DAE nadzoruje zarówno NPCIL, jak i BHAVINI, ale NPCIL jest udziałowcem BHAVINI. W indyjskich źródłach określa się

torów składa się z dwóch reaktorów wrzących (BWR) i 18 reaktorów z ciężkowodnych, w tym jednego PHWR o mocy 100 MW w Radżastanie, który jest własnością DAE i rządu Indii (czyli jest kierowany bezpośrednio

przez te dwa podmioty) oraz dwóch reaktorów WWER KKNPS-1 i 2 o mocy 1000 MW. Najnowszym uzupełnieniem floty jest jednostka 2 elektrowni jądrowej Kudankulam, WWER o mocy 1000 MW (PWR-reaktor ciśnieniowy), która rozpoczęła działalność komercyjną 31 marca 2017 r. Obecnie NPCIL posiada osiem reaktorów na różnych etapach budowy o łącznej mocy 6200 MW. (Informacja z NPCIL, Gorakhpur Haryana Anu Vidhyut Pariyojna Units 1&2 2x700 MW PHWRs są według tego źródła w budowie). Następnie NPCIL – podaje „Zainicjowano działania przedprojektowe w nowych lokalizacjach, które zostały zatwierdzone „zasadniczo” przez rząd, aby umożliwić wczesne uruchomienie projektów w tych lokalizacjach.”

### System zarządzania operatorem

System zarządzania indyjskiego operatora jest klasyczny oparty o zarządzanie jakością, środowiskiem, bezpieczeństwem i higieną pracy. NPCIL ma ok. 50 lat doświadczenia w bezpiecznej eksploatacji elektrowni jądrowych, pod swoim hasłem „Bezpieczeństwo przede wszystkim, a produkcja później”. System zarządzania środowiskowego (EMS) oraz system zarządzania bezpieczeństwem i higieną pracy (OHSMS) zgodnie z ISO-14001: 2004 i IS-18001: 2007 są odpowiednio utrzymywane na wszystkich obiektach. Przestrzegając zasady ALARA i utrzymując najwyższe standardy bezpieczeństwa w elektrowniach jądrowych (NPP), narażenie zawodowe pracowników firmy w różnych elektrowniach jądrowych utrzymuje się znacznie poniżej wartości określonych przez organ regulacyjny – Radę Regulacji Energii Atomowej (AERB). Emisje do środowiska izotopów promieniotwórczych z elektrowni jądrowych są utrzymywane na bardzo niskim poziomie (średnio mniej niż 1% limitów określonych przez AERB). NPCIL stara się przyczynić do zwiększenia bezpieczeństwa i niezawodności elektrowni jądrowych na całym świecie poprzez swoje aktywne uczestnictwo w Światowym Stowarzyszeniu Operatorów Jądrowych (WANO), Candu Owners Group (COG), MAEA i innych organizacjach międzynarodowych. Jednostki NPCIL otrzymały szereg nagród za bezpieczeństwo od różnych indyjskich agencji rządowych, takich jak AERB, Rada Bezpieczeństwa w Gujarat, czy Krajowa Rada Bezpieczeństwa w Bombaju. Certyfikat ISO 9001:2008 systemu zarządzania jakością indyjskiej firmie wystawił niemiecki TÜV. Ponadto Hindusi stosują wymagania standardów bezpieczeństwa Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej.

### Zakończenie

Przedstawiono tu tylko zarys i wstęp do wiedzy o indyjskim programie jądrowym. Niestety brakuje polskich źródeł informacji, można opierać się tylko na

źródłach zagranicznych przede wszystkim indyjskich. Jedno jest pewne Indie są w tej chwili jednym z największych rynków wschodzących jeżeli chodzi o nowe projekty jądrowe. Budują i to w dużej skali najnowsze reaktory energetyczne. Niestety brakuje w naszym kraju zainteresowania dokonaniem indyjskimi, a dla firm zainteresowanych energetyką jądrową byłby to interesujący rynek. Z punktu widzenia Polski jest to również ciekawe miejsce do zebrania doświadczeń w szybkim uruchamianiu i przeprowadzaniu projektów jądrowych. W opracowaniu korzystano w dużej mierze ze źródeł indyjskich. Pojawiają się pewne sprzeczności. Niektóre liczby można podawać z pewnym przybliżeniem. Terminologia indyjska jest trudno przetłumaczalna na język polski (pewne pojęcia zwłaszcza prawne mogą być inaczej pojmowane przez Hindusów i Polaków – coś, co dla indyjskiego inspektora dozoru jądrowego jest jasne i klarowne może być trudno zrozumiałe dla jego polskiego kolegi). Siłą rzeczy artykuł jest pewnym przybliżeniem dotyczącym stanu faktycznego indyjskiego programu jądrowego (cały czas mówi się tu o cywilnych zastosowaniach energii jądrowej, a przecież Indie posiadają broń jądrową, cała gama cywilnych zastosowań fizyki jądrowej przechodzi płynnie w militarną i vice versa). Stąd wynika przyczynkarski charakter opracowania. Ma ono na celu zainteresowanie tak ogromnym tematem, jak indyjski przemysł jądrowy. Druga, a kto wie, czy w tym momencie już nie pierwsza najszybciej rozwijająca potencjał nuklearny energetyka i gospodarka świata. Tematów i zagadnień do opracowania w tej kwestii jest cała biblioteka.

Piotr Leśny,  
Państwowa Agencja Atomistyki,  
Warszawa

### Literatura:

- [1] [www.ndtv.com/india-news](http://www.ndtv.com/india-news).
- [2] [www.power-technology.com/IAEA-Imagebank](http://www.power-technology.com/IAEA-Imagebank).
- [3] Nuclear Reactors in India World Nuclear Association [www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)
- [4] IAEA PRIS Power Reactors Information System [pris.iaea.org](http://pris.iaea.org)
- [5] IAEA RRDB Research Reactors Database [iaea.org](http://iaea.org)
- [6] Biznesalert „Indie zbudują 21 nowych reaktorów jądrowych”, <https://biznesalert.pl/indie-atom-21-reaktorow/>
- [7] The Economic Times. India Times.
- [8] ROSATOM [www.rosatom.ru](http://www.rosatom.ru)
- [9] AERB Atomic Energy Regulatory Board [www.aerb.gov.in](http://www.aerb.gov.in)
- [10] Nuclear Power Corporation of India Limited (NPCIL) [www.npcil.nic.in](http://www.npcil.nic.in)
- [11] DAE Department of Atomic Energy [www.dae.gov.in](http://www.dae.gov.in)
- [12] BHAVINI (Bharatiya Nabhikiya Vidyut Nigam Limited) [bhavini.nic.in](http://bhavini.nic.in)
- [13] [www.atomic-energy.ru](http://www.atomic-energy.ru)
- [14] „Monsoon. Ocean Indyjski i przyszłość amerykańskiej dominacji”, Robert Kaplan, Wydawnictwo Czarne 2012.

# ZAAWANSOWANE TECHNOLOGIE DETEKCJI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO W URZĄDZENIACH PRZENOŚNYCH

## *Advanced technologies of ionizing radiation detection in portable devices*

Andrzej Nowicki

**Streszczenie:** Zasygnalizowano aktualne tendencje w konstrukcji przenośnych urządzeń do pomiaru promieniowania jonizującego pozwalające na miniaturyzację detektorów przy równoczesnym zwiększeniu ich możliwości pomiarowych. Przedstawiono kilka rozwiązań technicznych, w tym radiometru MKS-11GN SPECTRA ze względu na internetowe wzmianki o jego stosowaniu w Polsce.

**Abstract:** The current tendencies in the construction of portable counters for measuring ionizing radiation including miniaturization of detectors while increasing their measuring capabilities have been indicated. A number of technical solutions were presented, including the MKS-11GN SPECTRA radiometer due to its probably use in Poland.

**Słowa kluczowe:** detekcja promieniowania gamma, detekcja neutronów, scyntylatory, diody PiN, SiPM

**Keywords:** gamma and neutron radiation detection, scintillators, PiN diodes, SiPM

Współczesny świat niesie dla nas wiele zagrożeń związanych zarówno z postępem technicznym, rozwojem diagnostyki i metod leczenia w medycynie, jak i z działaniami łamiącymi prawo, takimi jak przemyt, zorganizowana przestępczość, a także zagrożenie terrorystyczne i lokalne konflikty zbrojne. Wśród tych niebezpieczeństw szczególną uwagę zwraca się na zagrożenia ogólnie określane mianem zagrożenia radiacyjnego, od nieuprawnionego użycia materiałów promieniotwórczych po zagrożenia związane z zapobieganiem rozprzestrzenianiu się jądrowych broni masowego rażenia. W Polsce od strony prawnej przepisy regulujące produkcję i wykorzystanie energii atomowej oraz bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną zawarte są w ustawie – Prawo atomowe [1] i wydanymi do niego rozporządzeniami właściwych organów administracji państwowej [2]. Działania kontrolne i profilaktyczne w zakresie problematyki objętej tymi aktami wymagają stosowania różnego typu urządzeń sygnalizujących obecność, typ i natężenie promieniowania jonizującego.

Najpopularniejszym, produkowanym i stosowanym w milionach egzemplarzy, ze względu na swoją prostotę budowy i aplikacji, detektorem do sygnalizacji i pomiarów promieniowania jonizującego jest licznik gazowy nazywany licznikiem, lampą, rurką bądź tubą

Geigera-Müllera (G-M), początkowo skonstruowany do detekcji promieniowania  $\alpha$  [3], później zmodyfikowany, aby wykrywał również promieniowanie  $\beta$  i  $\gamma$  [4]. Ma on pewne wady, przy czym największe to konieczność zasilania prądem o napięciu kilkuset V oraz brak zdolności identyfikacji energii wykrywanego kwantu bądź cząstki promieniowania jonizującego.

Energię kwantu bądź cząstki o dużej energii można wyznaczyć między innymi przy zastosowaniu gazowych liczników proporcjonalnych, scyntylatorów czy detektorów CdZnTe<sub>2</sub>. Scyntylatory są następcami spintaryskopu, najprostszego, obok galwanoskopu, przyrządu do detekcji promieniowania jonizującego. Scyntylatory mogą być ciałami stałymi (kryształy soli nieorganicznych czyste bądź domieszkowane, związki organiczne, odpowiednio domieszkowane polimery) lub roztworami; bardzo rzadko stosuje się gazy (Tabela 1). Scyntylator zamienia energię absorbowanego promieniowania jonizującego na sygnał w postaci krótkiego błysku światła ( $\sim$ ns do  $\sim$  $\mu$ s) w zakresie widzialnym lub zbliżonym do widzialnego, o amplitudzie (intensywności) proporcjonalnej w szerokim zakresie energii do energii kwantu bądź cząstki promieniowania jonizującego. Niestety, sygnał jest tak słaby, że wymaga wzmocnienia o wiele rzędów wielkości, aby mógł być poddany obróbce i zliczaniu w typowych

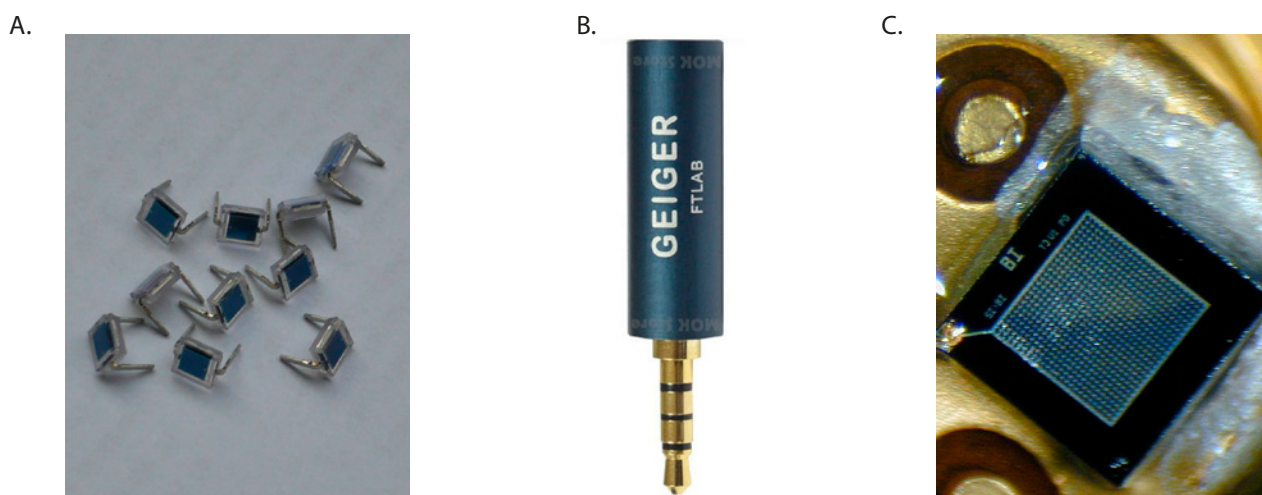
układach elektronicznych. Do niedawna jedynym sposobem wzmocnienia było stosowanie fotopowielaczy, lamp próżniowych o wieloelektrodowej konstrukcji. Fotopowielacz, nie dość, że wymaga zasilania prądem o napięciu ponad 1 kV, to jeszcze jest wrażliwy na pola magnetyczne i nieostrożne obchodzenie się z nim, czego w spektakularny sposób dowiodła awaria detektora neutron Super-Kamiokande w Japonii w 2001 r., gdy w ciągu niewielu sekund nastąpiła implozja ponad 7 tys. klasycznych fotopowielaczy.

Postęp w dziedzinie budowy elementów półprzewodnikowych w ostatnich latach pozwolił jednak na zastąpienie fotopowielaczy specyficznymi, czułymi na światło diodami krzemowymi PiN (silicon P- intrinsic-N diode) lub zbliżonymi do nich strukturą, znacznie lepszymi pod względem parametrów fotopowielaczami krzemowymi SiPM (Silicon PhotoMultiplier), sprzężonymi optycznie ze scyntylatorami. Co więcej, sama dioda PiN jest również detektorem promieniowania jonizującego [5] i może być samoistnie użyta do jego wykrycia z możliwością określenia jego energii [6]. Przy jej użyciu zbudowano robiący furorę gadżet o nazwie SmartGeiger, który z rurką G-M nie ma nic wspólnego, składa się z fotodiody PiN jako detektora, prostego układu elektronicznego i wtyku słuchawkowego do połączenia z telefonem typu SmartPhone. Odpowiednia aplikacja dostępna jest, zwykle bezpłatnie, na stronie producenta telefonu. Co najdziwniejsze, przy czasie pomiaru ok. 5 minut zestaw telefon + czujnik pozwala zmierzyć równoważnik mocy dawki promieniowania  $\gamma$  w zakresie 0,1 – 200  $\mu\text{Sv/h}$  z błędem rzędu  $\pm 30\%$ , choć czasami pokazuje „dziwne” wyniki.

Na zagranicznych portalach aukcyjnych można spotkać wiele takich przyrządów o podobnym przeznaczeniu. Jako przystawki do telefonu oferowane są typowe rurki G-M (typ SBM-20) pod nazwą **AtomSimple**, bądź

też pod prawie identyczną nazwą i w identycznej obudowie (120 mm x 20 mm x 13 mm) dostępny jest w pełni profesjonalny detektor **AtomFast** wyposażony w scyntylator CsI(Tl) + SiPM. Wybór tego drogiego scyntylatora podyktowany jest jego emisją w zielonym zakresie światła widzialnego, co odpowiada zakresowi wysokiej czułości fotodetektora. Rozmiary scyntylatora 8 mm x 8 mm x 50 mm zapewniają czułość 130 impulsów $\cdot\text{h}\cdot\mu\text{Sv}^{-1}$  i szeroki zakres rejestracji równoważnika mocy dawki promieniowania jonizującego 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  – 100  $\mu\text{Sv/h}$  z błędem  $\pm 15\%$ , przy anizotropii detekcji (ze względu na kształt scyntylatora) promieniowania izotopu  $^{137}\text{Cs}$  wynoszącej do 30%. Detektor wykrywa również promieniowanie  $\beta$  o energii powyżej 0,5 MeV. Z telefonem łączy się via Bluetooth® na odległość do 15 m.

Od takiego zestawu – telefon + detektor (sam detektor to „tylko” 420 US\$ + cło + VAT) niewiele już brakuje do w pełni profesjonalnego przenośnego radiometru o możliwościach rozbudowanej aparatury laboratoryjnej. Przyrządy takie zostały opisane w normie ANSI N42.48 D4 jako grupa SPRD – Spectroscopic Personal Radiation Detektors, stosowane są głównie w obszarze bezpieczeństwa państwowego, a więc w zapobieganiu nielegalnemu obrotowi materiałami radioaktywnymi i jądrowymi, w kontroli obszarów granicznych, do inspekcji składowisk odpadów radioaktywnych oraz inspekcji radioaktywnych skażeń środowiska. Urządzenia tej grupy służą do wykrywania radionuklidów, w tym materiałów jądrowych – rozszczepialnych. Podstawowym wymaganie względem tych przyrządów jest możliwość identyfikacji radionuklidów z obowiązkowej i opcjonalnej listy, podzielonych umownie na 4 grupy według występowania lub stosowania. Bardzo pożądaną cechą jest detekcja promieniowania neutronowego emitowanego zawsze w minimalnych ilościach przez



**Fot. 1.** A – Fotodiody PiN BPW34 [7], powierzchnia światłoczuła 7,5 mm<sup>2</sup>, odstęp między wyprowadzeniami 5 mm; B – Smart Geiger [8], wymiary: średnica 10 mm, długość bez/z wtykiem 30/47 mm; C – struktura SiPM [9]

**Photo 1.** A – Type BPW34 PiN photodiodes [7], photo sensitive area (in mm<sup>2</sup>): 7.5, distance between connectors is 5 mm; B – Smart Geiger [8], dimensions: diameter 10 mm, 30/47 mm long; C – structure of SiPM array [9]

izotopy rozszczepialne. Przykładem może być przyrząd **MKS-11GN Spectra** [10], z dwóch powodów:

- znacząco różni się możliwościami pomiarowymi od typowych dozymetrów wykorzystujących rurki G-M (za 60 US\$), choć z daleka wyglądają one podobnie,
- w Internecie są notki, że te radiometry trafiły do Polski, m.in. na potrzeby służb celnych do wykrywania jądrowej kontrabandy<sup>1</sup>.

Radiometr **MKS-11GN Spectra** zawiera aż 3 detektory:

- scyntylator CsI(Tl) z fotodetektorem SiPM do wyznaczenia przestrzennego równoważnika mocy dawki  $H^*(10)$  promieniowania  $\gamma$  w zakresie od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  do 100  $\mu\text{Sv/h}$ . Ze względu na czułość detekcji wynoszącą ponad 200 cps przy równoważniku mocy dawki promieniowania  $\gamma$  od izotopu  $^{137}\text{Cs}$  równym 1 mSv/h wymiary scyntylatora można szacować na 10 mm x 10 mm x 50 mm. Amplituda sygnału z tego detektora w szerokim zakresie energii promieniowania  $\gamma$  jest do niej proporcjonalna, co dzięki zastosowaniu 2048-kanalowego analizatora pozwala wyznaczać widmo promieniowania, a na jego podstawie wykrywać radionuklidy. Prawdopodobny wygląd scyntylatora można zobaczyć na zagranicznym portalu aukcyjnym [11];
- małogabarytową rurkę G-M do pomiarów równoważnika mocy dawki promieniowania  $\gamma$  powyżej 100  $\mu\text{Sv/h}$  aż do 1 Sv/h; w tym zakresie wyłączeniu ulegają: pomiar scyntylatorem CsI(Tl), zliczanie impulsów (cps) i zaawansowane funkcje radiometru, jak analiza widma energetycznego promieniowania  $\gamma$  oraz identyfikacja izotopów;
- scyntylator  $^6\text{LiI}(\text{Eu})$  z fotodetektorem SiPM do detekcji równoważnika mocy dawki promieniowania neutronowego w zakresie od 0,01  $\mu\text{Sv/h}$  do 10 mSv/h. Bardzo ciekawe problemy związane z pomiarem promieniowania neutronowego przy pomocy radiometru **MKS-11GN Spectra** zostaną omówione dalej;

przy czym wszystkie te detektory, razem z mikroprocesorem, pamięcią, systemem lokalizacji satelitarnej GPS/GLONASS, akumulatorem litowym, systemem kompensacji temperaturowej, interfejsem komputerowym i kolorowym wyświetlaczem LCD wysokiej rozdzielczości mieszczą się w bryzgoodpornej (klasa IP67) obudowie o wymiarach 127 mm x 67 mm i grubości 30 mm, o masie (bez sprężystego klipsa) tylko 280 g (fot. 2).

Radiometr zabezpieczony jest przed nieuprawnionym użyciem za pomocą haseł Użytkownika i Administratora.

Podstawowe tryby pracy dozymetru, to:

- pomiar równoważnika mocy dawki promieniowania  $\gamma$  i neutronowego, w oddzielnych kanałach (fot. 2. A) z wyświetlaniem wartości w  $\mu\text{Sv/h}$  i cps oraz wyświetlaniem histogramu dawki w funkcji czasu

<sup>1</sup> Kontrabanda ma się dobrze, o czym świadczy zniknięcie niektórych tematów z forów internetowych.



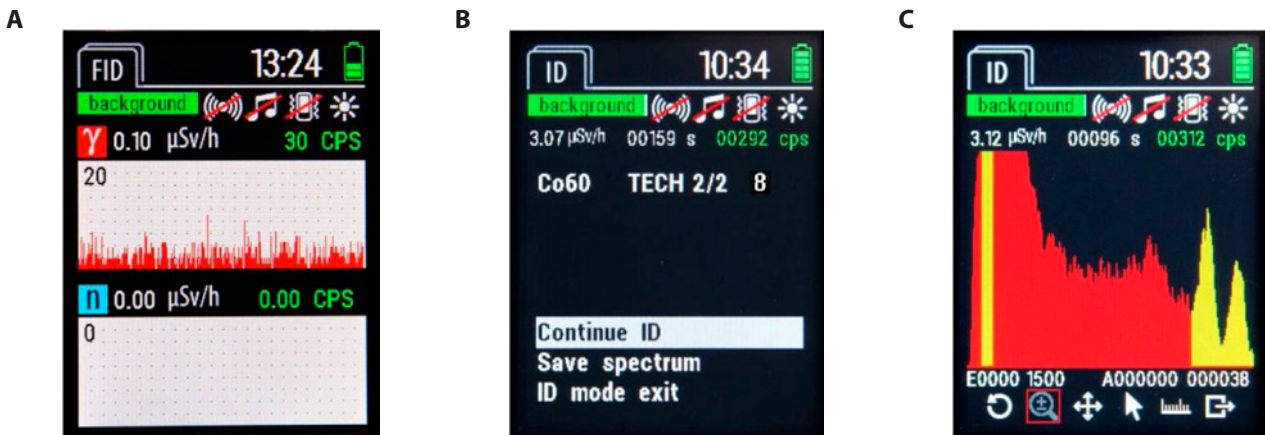
**Fot. 2.** A – widok z przodu, B – z boku i C – z tyłu radiometru MKS-11GN Spectra. Znaki „+” z tyłu obudowy odpowiadają geometrycznemu środkowi poszczególnych detektorów

**Photo 2.** A – front view, B – side view and C – view on the back of the Spectra MKS-11GN radiometer. The “+” signs on the back of the case correspond to the geometrical center of the individual detectors type

(280 wartości zmierzonych w 100-ms odcinkach czasu, fot. 3. A). Przed rozpoczęciem pomiarów radiometr samoczynnie kalibruje się na aktualny poziom promieniowania tła, znacząca statystycznie odchyłka od wyznaczonego w trakcie kalibracji poziomu tła skutkuje alarmem (jednym z kilku nastawianych);

- identyfikacja radionuklidów na podstawie ich widm  $\gamma$  (fot. 3. B) oraz przeglądanie widm i ich analiza (fot. 3. C). Radiometr identyfikuje automatycznie 32 izotopy podzielone umownie na 4 grupy: medyczne, stosowane przemysłowo, materiały jądrowe ( $^{239}\text{Pu}$  wykrywany jest tylko w postaci materiału zawierającego ponad 6%  $^{240}\text{Pu}$ , militarny  $^{239}\text{Pu}$  nie jest wykrywany) oraz radionuklidy występujące w przyrodzie. Bazę widm można rozszerzyć do 128 izotopów za pomocą dodatkowego oprogramowania.

Należy zwrócić uwagę, że dzięki analizie widma energetycznego promieniowania  $\gamma$  pomiar przestrzennego równoważnika mocy dawki  $H^*(10)$  jest wyjątkowo

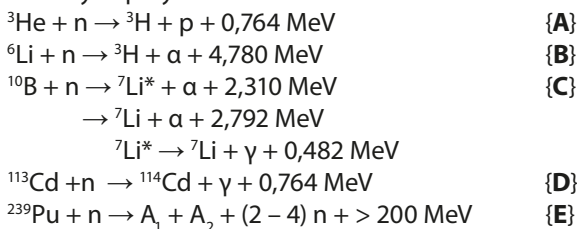


**Rys. 1.** Widok ekranu dozymetru w trybie: A - wyświetlania histogramu równoważnika mocy dawki za ostatnie 28 s; B - identyfikacja znalezionych radionuklidów; C - analiza zapisanego widma  
**Fig. 1.** View of the dosimeter's screen in mode: A - display of dose equivalent rate histogram for the last 28 s; B - identification of found radionuclide; C - analysis of the recorded spectrum

precyzyjny. Przeglądając w Internecie fotografie radiometru z przykładowymi, różnymi wartościami  $H^*(10)$  można zauważyć, że zależność pomiędzy zliczeniami (cps) i  $H^*(10)$  nie jest proporcjonalna, a wynika z algorytmu oprogramowania radiometru.

Pełne możliwości radiometru wymagają zapoznania się z instrukcją [10], natomiast trochę więcej uwagi zostanie poświęcone detekcji promieniowania neutronowego przez radiometr. Jest to rzadko spotykana funkcja w radiometrach przenośnych<sup>2</sup>, jej implementacja wymaga rozwiązania wielu problemów, a interpretacja otrzymywanych odczytów – sporego doświadczenia. Trudno w tym miejscu nie wspomnieć o doniesieniu Fleischmana, Ponsa i Hawkinsa [13] z roku 1989 o anomalii energetycznych podczas elektrolizy  $D_2O$ . Informacja trzech uczonych spowodowała istny potop pomiarów neutronowych, w tym wykonywanych przez laików w tym temacie, co skutkowało wręcz humorystycznymi zdarzeniami [14]. Poniższe informacje przedstawiają najbardziej podstawowe fakty na temat detekcji neutronów, zwłaszcza, że w instrukcji obsługi radiometru **MKS-11GN Spectra** można zauważyć znaczące przemilczenia.

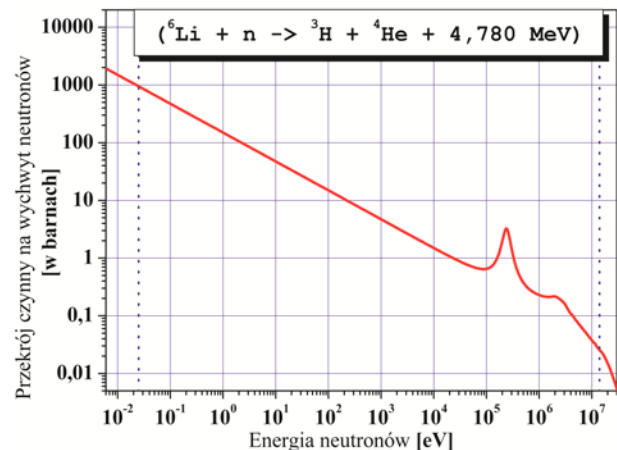
W przeciwieństwie do detekcji promieniowania  $\gamma$  lub strumienia naładowanych cząstek, które oddziałują z elektronami atomów detektora, detekcja neutronów polega na wykryciu wysokoenergetycznych produktów ich reakcji z jądrami atomów detektora, jak w poniższych przykładach:



<sup>2</sup> Prymitywne rozwiązania typu owijania rurki G-M blachą kadmową nie zasługują na wzmiankę, bo nie odróżniają promieniowania  $\gamma$  i neutronowego.

W opisywanym radiometrze wykorzystano reakcję [B] stosując scyntylicator  ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$  – Tabela 1.

Rys. 2. przedstawia zależność przekroju czynnego jądra  ${}^6\text{Li}$  na wychwyty neutronów w funkcji ich energii.



**Rys. 2.** Przekrój czynny jądra  ${}^6\text{Li}$  na wychwyty neutronu w funkcji jego energii [15]; pionowe linie wskazują zakres detekcji neutronów przez radiometr

**Fig. 2.** The cross-section of  ${}^6\text{Li}$  nucleus on neutron capture as a function of its energy [15]; vertical blue lines are limits of neutrons detection by radiometer

W zaznaczonym na wykresie zakresie pomiarowym radiometru zmienia się on  $>10^4$  razy, natomiast instrukcja podaje dla tego zakresu tylko 10-krotną zmianę czułości radiometru w ilości impulsów przy detekcji strumienia neutronów na  $1 \text{ cm}^2$  w funkcji ich energii. Tu pierwsza, **bardzo ważna** uwaga: scyntylicator  ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$  (dotyczy to również pozostałych wyżej wymienionych reakcji jądrowych) **nie mierzy** energii neutronów, rejestruje tylko, czy reakcja miała miejsce i wysłała impuls światła o amplitudzie proporcjonalnej do **energii produktów reakcji jądrowej**. Sygnał ten ma typowy rozkład Gaussa o szerokości połowkowej  $< 7\%$ . Przykład sygnału ze scyntylicatora  ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$ , w tym również przy zastosowaniu fotodiody  $\text{PiN}$ , w mieszanym polu promieniowania  $\gamma$  od  ${}^{60}\text{Co}$  i  ${}^{137}\text{Cs}$  ra-

zem ze strumieniem neutronów termicznych, zaprezentowano w [16]. Pomiędzy zakresem rejestracji **energii kwantów  $\gamma$** , a zakresem rejestracji **energii produktów reakcji jądrowej** neutronów z jądrami  ${}^6\text{Li}$ , występuje przerwa energetyczna  $> 1,5$  MeV. Wystarczy więc prosty jednokanałowy selektor amplitudy i dyskryminator szumów, aby otrzymać doskonałą separację i ograniczyć wpływ promieniowania  $\gamma$  na detekcję neutronów. W omawianym radiometrze w polu promieniowania  $\gamma$   ${}^{137}\text{Cs}$  i  ${}^{60}\text{Co}$  o równoważniku mocy dawki do  $100 \mu\text{Sv/h}$  nie występują błędne wskazania obecności promieniowania neutronowego. Ponieważ minimalne wskazanie promieniowania neutronów odpowiada  $0,01 \mu\text{Sv/h}$ , oznacza to wysoką selektywność  $\geq 10^4$ , porównywalną z profesjonalnymi laboratoryjnymi sondami neutronów [17]. Jest tylko jeden problem – takich parametrów nie da się uzyskać bez moderacji energii wykrywanych neutronów, gdyż już dla neutronów o energii wyższej niż  $10$  keV ilość wykrywanych neutronów spadłaby do wartości  $0,1\%$  w stosunku do ilości wykrywanych neutronów termicznych ( $0,0253$  eV,  $T=293\text{K}$ ,  $v=2200$  m/s) dla identycznego strumienia neutronów w  $\text{cm}^{-2}$ . Efektywne „schłodzenie” neutronów szybkich ( $10^5$  eV -  $10^7$  eV) wymaga warstwy moderatora o wysokiej zdolności spowalniania (np. parafina, HDPE, z możliwym dodatkiem kilku procent grafitu) o grubości ok.  $13$  cm. Taki moderator w postaci dookolnej w żaden sposób nie zmieściłby się w radiometrze, dlatego zastosowano cienki moderator

polimerowy, przy czym funkcję moderatora pełni również obudowa radiometru. W tym miejscu powstaje pytanie: skoro scyntylator  ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$  mierzy także energię promieniowania  $\gamma$ , dlaczego w radiometrze zastosowano dwa scyntylatory? Wynika to z faktu, że do wychwytu  $> 90\%$  neutronów termicznych wystarczy scyntylator  ${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$  o grubości  $\sim 3$  mm, dlatego rozmiary scyntylatora w radiometrze można szacować na  $\Phi = \sim 4$  mm, długość  $\sim 6$  mm. Taki scyntylator ma niską wydajność detekcji promieniowania  $\gamma$ , zwłaszcza w jego wysokoenergetycznej części, a jego powiększenie byłoby absurdem technicznym i ekonomicznym.

I na koniec najważniejsza sprawa: jak skalibrowano radiometr?

- przy kalibracji na neutrony szybkie radiometr wskazywałby strumień neutronów termicznych z błędem ponad  $+1000\%$ , co nie stanowi zagrożenia dla użytkownika,
- przy kalibracji na neutrony termiczne radiometr zaniżałby strumień neutronów szybkich nawet do dziesięciu razy, co stanowiłoby skrajne zagrożenie dla użytkownika w sytuacjach ekstremalnych.

Dlatego radiometr kalibrowany jest na niemoderowane źródło  ${}^{239}\text{Pu}/\text{Be}$  (przeliczenie w cps na  $\mu\text{S}/\text{h}$ ). Oznacza to błąd ok.  $\pm 25\%$  przy pomiarze równoważnika mocy dawki strumienia neutronów z takich źródeł, jak  ${}^{241}\text{Am}/\text{Be}$ ,  ${}^{226}\text{Ra}/\text{Be}$  czy  ${}^{252}\text{Cf}$  oraz niewielką przydatność radiometru do pomiarów neutronów reaktoro-

**Tabela. Właściwości najpopularniejszych scyntylatorów.**  
**Table. Properties of most used scintillators.**

Rodzaj scyntylatora	NaI(Tl)	CsI	CsI(Na)	CsI(Tl)	ZnS(Ag)	Scyntylatory polimerowe	${}^6\text{LiI}(\text{Eu})$
Detekcja promieniowania	$\gamma, X, (\beta)$	$\gamma, X, (\beta)$	$\gamma, X, (\beta)$	$\gamma, X, (\beta)$	$\alpha$	$\beta, \gamma, X$	<b>neutrony</b> $\gamma, (\beta)$
Gęstość, $\text{g}/\text{cm}^3$	3,67	4,51	4,51	4,51	4,09	1,03	4,10
Współczynnik załamania światła	1,85	1,95	1,86	1,84	-	1,57	1,96
Maksimum emisji przy długości fali, nm	410 - 415	310	420	565	450	350 - 480 (580)	440
Wydajność emisji (jednostki arbitralne, antracen = 100)	240	500 at 77 K	244	375		45 - 65	70
Wydajność emisji, fotonów/keV	55	2	41	54		7,2 - 10,5	11
Amplituda impulsu światła, (jednostki arbitralne) *	100	5	85 (110)	46	130	15 - 20	30 - 35
Uwagi	higrosko-pijny	słabo higrosko-pijny		słabo higrosko-pijny	jako warstwa na folii	niehigrosko-pijny, b. szybkie narastanie/zanik impulsu światła	Min. 96% ${}^6\text{Li}$

\* detekcja fotopowielaczem



wych, poza stwierdzeniem, że są obecne. Nie powinno to dziwić, gdyż profesjonalne sondy neutronowe do pomiarów naukowych mają masę po kilkanaście kilogramów i kalibrowane są oddzielnie na każdy rodzaj źródła neutronów. Pomiary strumienia neutronów mają więc charakter detekcyjny, a nie ilościowy, ale najważniejszą zaletą jest jednoznaczna identyfikacja strumienia neutronów. Ponieważ nie występuje on jako sygnał tła, każde, najmniejsze nawet wskazanie w kanale detekcji neutronów jest sygnałem alarmowym i wymaga dokładnego sprawdzenia.

Nie można w tym miejscu pominąć ważnej kwestii. Poszukując źródeł neutronów skrajnym błędem byłoby trzymanie radiometru w wyciągniętej ręce przed sobą. Ponieważ ciało człowieka zawiera ponad 60% wody oraz sporo węgla, stanowi ono doskonały naturalny moderator. Należy zatem wsunąć radiometr za pasek spodni z tyłu, a do sygnałów alarmowych używać słuchawki.

### Podsumowanie

Prezentowane w tekście rozwiązania techniczne w zakresie detekcji promieniowania jonizującego, w tym neutronowego, umożliwiają budowę przenośnych przyrządów radiometrycznych o niespotykanych wcześniej możliwościach pomiarowych, w wielu wariantach i rozwiązaniach koncepcyjnych. Przykładem takiego radiometru w najbardziej rozbudowanej wersji jest przyrząd **MKS-11GN Spectra**. Pamiętać jednak należy, że żaden przyrząd nie jest mądrzejszy od jego użytkownika. Z tego powodu Autor tekstu widziałby takie radiometry np. w Zakładzie Unieszkodliwiania Odpadów Jądrowych, choćby ze względu na zakres prowadzonych w tej jednostce prac oraz doświadczenie personelu gwarantujące pełne wykorzystanie jego możliwości. Z powodu zaawansowanych rozwiązań technicznych urządzenia takie nie mogą być tanie [18,19].

### Podziękowanie

Autor dziękuje firmie EcoTest® (Ukraina) za udostępnienie materiału ilustracyjnego i konsultacje szczegółów technicznych konstrukcji radiometru.

Andrzej Nowicki,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa

### Literatura:

[1] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. - Prawo atomowe, Dz. U. 2001 Nr 3 poz. 18 z późn. zm., tekst jednolity Dz. U. (tekst jednolity - Dz. U. z 2019 r. poz. 1792 oraz z 2020 r. poz. 284, poz. 322)

- [2] Przykładowo Rozporządzenia Rady Ministrów: wymagania dla sprzętu dozymetrycznego (Dz. U. z 2002 r. poz. 2032), stacje kontroli i ostrzegania dozymetrycznego (Dz.U. z 2002 r. poz. 2030). Rozporządzenia te, w związku z nowelizacją z dnia 13 czerwca 2019 r. Ustawy [1], (Dz. U. 2019, poz. 1593), powinny zostać zaktualizowane, przykładem jest Rozporządzenie Ministra Zdrowia o zagrożeniu radonem z dnia 18 czerwca 2020 r. (Dz. U. z 2020 r. poz. 1139).
- [3] E. Rutherford and H. Geiger: *An Electrical Method of Counting the Number of  $\alpha$ -Particles from Radio-Active Substances*. Proc. R. Soc. Lond. A, 81(546), 141-161, 1908. DOI: 10.1098/rspa.1908.0065.
- [4] H. Geiger and W. Müller: *Elektronenzählrohr zur Messung schwächster Aktivitäten*. Naturwissenschaften, 16(31), 617-618, 1928. DOI: 10.1007/BF01494093.
- [5] L. Andreani, M. Bontempi, P.L. Rossi, L.P. Rignanese, M. Zuffa and G. Baldazzi: *Comparison between a silicon PIN diode and a CsI(Tl) coupled to a silicon PIN diode for dosimetric purpose in radiology*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, 762, 11-15, 2014. DOI: 10.1016/j.nima.2014.05.072.
- [6] Ch. N.P. Oliveira, S.H.J. Khoury and J.P. Edval: *PiN photodiode performance comparison for dosimetry in radiology applications*. Physica Medica, 32(12), 1495-1501, 2016. DOI: 10.1016/j.ejmp.2016.10.018.
- [7] Zbiory własne Autora, karta katalogowa: <https://www.vishay.com/docs/81521/bpw34.pdf>
- [8] Materiały reklamowe firmy Smart FTLab, <http://allsmarftlab.com/eng/smart-geiger/>, test na polskim blogu: <http://promieniowanie.blogspot.com/2017/08/smart-geiger-dozymetr-w-telefonie.html>
- [9] [https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon\\_photomultiplier](https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_photomultiplier)
- [10] <https://ecotestgroup.com/wp-content/uploads/2016/10/MKS-11GN-SPECTRA-Manual.pdf>, producent: EcoTest®, 33 V.Velykoho Str., Lviv, 79026, Ukraine
- [11] [https://www.ebay.com/usr/maxim.madmax?\\_trksid=p2047675.l2559](https://www.ebay.com/usr/maxim.madmax?_trksid=p2047675.l2559)
- [12] *Geiger Counter Nuclear Radiation Detector Tester Beta Gamma X-ray Dosimeter Tool* – do wpisania w wyszukiwarkę na zagranicznych portalach aukcyjnych.
- [13] M. Fleischmann, B.S. Pons and M. Hawkins: *Electrochemically induced nuclear fusion of deuterium*. J. Electroanal. Chem., 261(2), 301-308, 1989. DOI/10.1016/0022-0728(89)80006-3
- [14] Z.P. Zagórski: *Zimna fuzja deuteru czyli nieustająca rewitalizacja błędnej idei*, Wiad.Chem. 61(11-12), 963-984, 2007.
- [15] Wykres Autora na podstawie danych: <http://www.oecd-nea.org/janisweb/>
- [16] <https://scionix.nl/wp-content/uploads/2017/07/LiLEu-thermal-neutron-detectors.pdf>
- [17] <https://www.berthold.com/en/neutron-probe-lb-6411>
- [18] Przyrząd pojawia się sporadycznie na największym światowym portalu aukcyjnym.
- [19] Pod koniec 2017 r. NCBJ zawarło umowę na dostawę dwóch ręcznych radiometrów Kromek RayMon10 w cenie po 16.000 US\$ (+ cło i podatek VAT) za sztukę.

# SYSTEM ZABEZPIECZEŃ W REAKTORACH BADAWCZYCH

## *Safeguard in the Research Reactors*

Krzysztof Rzymkowski

**Streszczenie:** W opracowaniu przedstawiono podstawowe cechy systemu zabezpieczeń stosowanego w reaktorach badawczych.

**Abstract:** The paper presents the basic features of the safeguard at the research reactors.

**Słowa kluczowe:** system zabezpieczeń, reaktory badawcze, zestawy krytyczne, Informacja projektowa, reaktor powielający

**Keywords:** safeguard, research reactors, critical assembly, design information, breeder reactor

Lęk przed niekontrolowanym wykorzystaniem materiałów jądrowych w celach militarnych lub przestępczych, przyczynił się do powołania międzynarodowej organizacji, której zadaniem jest wykrywanie nieuprawnionego wykorzystywania materiałów jądrowych. Tą organizacją jest Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA), która oprócz kontroli nierozprzestrzeniania materiałów jądrowych ułatwia wymianę informacji naukowych i stymuluje badania nad pokojowym zastosowaniem energii jądrowej oraz opracowywanie standardów bezpieczeństwa. Zagrożenie terroryzmem wymusza konieczność wzmożonej i dokładniejszej kontroli i ochrony materiałów jądrowych, które mogą być użyte do budowy broni jądrowej o różnej sile rażenia i przeznaczeniu – np. do celów dywersyjnych lub do skażenia środowiska.

System kontroli materiałów jądrowych, umożliwiający w trakcie długoterminowych działań kontrolnych wykrycie nielegalnego uzyskania materiałów jądrowych potrzebnych do konstrukcji jądrowych urządzeń wybuchowych prowadzi Departament Zabezpieczeń MAEA.

Wprowadzane są dwa rodzaje systemów kontroli: pierwotny (bezpośredni – obecnie funkcjonujący), związany z wykorzystaniem i składowaniem materiałów jądrowych, polegający na okresowym sprawdzaniu ich ilości, składu, postaci fizycznej, umiejscowienia oraz ochrony fizycznej, kontroli lokalizacji i przemieszczania oraz wtórny – (pośredni – planowany w przyszłości i częściowo obecnie funkcjonujący) związany z cyklem paliwowym umożliwiając śledzenie historii wykorzystania paliwa jądrowego.

Ze względu na ogromną różnorodność konstrukcji, wynikającą z ich przeznaczenia, reaktory badawcze należą do ważnych obiektów jądrowych wymagających indywidualnego dostosowania do wymagań systemu kontroli.

### Reaktory badawcze

Reaktory badawcze są głównie wykorzystywane jako źródło neutronów. Wiązka neutronów może mieć różne właściwości i jest używana do badań rozpraszania neutronów, do badań nieniszczących, analizy i testowania materiałów, produkcji izotopów, celów edukacyjnych. Konstrukcja reaktorów badawczych jest dostosowana do potrzeb eksperymentu lub zastosowania np. reaktory wytwarzające radioizotopy, testujące materiały, testujące konfigurację nowych konstrukcji reaktorów, szkoleniowe itp. Moc wykorzystywana do realizacji tych zadań jest niewielka i dlatego nazywane są reaktorami zerowej mocy. Reaktory badawcze potrzebują znacznie mniej paliwa niż reaktory energetyczne i produkują mniej produktów rozszczepienia. W niektórych rozwiązaniach wymagane jest wyższe wzbogacenie uranu  $U^{235} \leq 20\%$  (*high-assay low-enriched uranium* – HALEU) lub wyższego w starszych rozwiązaniach - 93%. W ogólnych zarysach konstrukcja reaktorów badawczych jest zbliżona do konstrukcji reaktorów energetycznych, ale bardziej zróżnicowana jest budowa rdzenia reaktora, a konstrukcja samego paliwa znacznie odbiegająca od prawie znormalizowanych kasetowych konstrukcji używanych w reaktorach energetycznych. Ponieważ głównym zadaniem reaktorów badawczych jest wytworzenie wiązki neutronowej, więc stosowane są rozwiązania techniczne zmniejszające straty neutronów. Reaktory badawcze pracują przy znacznie niższych temperaturach, ale podobnie jak reaktory energetyczne wymagają chłodzenia, co przy wykorzystywaniu różnych moderatorów zwiększa różnorodność konstrukcji reaktorów. Maksymalna moc reaktorów nie przekracza 100 MW.

Reaktory badawcze są używane przede wszystkim w ośrodkach naukowych, instytutach, uczelniach oraz potężnych koncernach przemysłowych, głównie chemicznych i metalurgicznych. Obecnie w 53 krajach

używanych jest 220 reaktorów badawczych (najwięcej w Rosji 52 i Stanach Zjednoczonych 50 i Chinach 16). W krajach rozwijających się budowanych jest obecnie 9 reaktorów i planowanych 14. W sumie wybudowano 815 reaktorów, wycofano z eksploatacji 60, a 510 jest wycofanych lub są w trakcie wycofywania. 28 reaktorów jest tymczasowo wyłączonych.

W większości reaktorów badawczych reakcja łańcuchowa jest wywoływana przez neutrony termiczne.

Powstało kilka wariantów konstrukcji reaktorów prędkich: w Japonii Prędkie Reaktor Eksperymentalny Joyo (*Function Tests of Experimental Fast Reactor "JOYO"*) prefektura Oarai 1997 r. prototyp reaktora energetycznego Monju, w Chinach Chiński Prędkie Reaktor Eksperymentalny (*China Experimental Fast Reactor – CEFR*) obwód Beijing 2010 r., w Indiach Doświadczalny Reaktor Prędkie (*Fast Breeder Test Reactor – FBTR*) Kalpakkam 1985 r. konstrukcja prototypowa reaktora prędkiego 500 MWe, w której jako paliwa użyto 50 kg metalicznego plutonu, w Rosji Prędkie Reaktor Badawczy (*Fast Test Reactor*) BOR – 60 w Dimitrowgrad 1969 r., który będzie zastąpiony w 2020 r. przez potężniejszy reaktor MBIR (*Многоцелевой исследовательский реактор на быстрых нейтронах*) do badań paliwa jądrowego, w Stanach Zjednoczonych Eksperymentalny Reaktor Powielający (*Experimental Breeder Reactor-II - EBR-II*) Idaho 1964 ulepszona wersja EBR I (1951) sprawdzającego teoretyczne możliwości budowy reaktora prędkiego. Obecnie powstaje w Stanach Zjednoczonych potężny reaktor prędkie przeznaczony do sprawdzania zaawansowanych projektów reaktorów, materiałów i paliw jądrowych o mocy 300 MWt.

Odmiernym rodzajem reaktorów badawczych są zestawy krytyczne. Są one głównie przeznaczone do opracowywania nowych rozwiązań technologicznych pozwalających na sprawdzenie: założeń teoretycznych, modeli matematycznych odwzorowujących pracę reaktora oraz weryfikację przewidywanych i związanych z nią charakterystyk zachodzących innych procesów.

Przeprowadzenie testów sprawdzających w zestawach krytycznych odbywa się w warunkach odtwarzających konstrukcję projektowanego reaktora z możliwością szybkiej modyfikacji konstrukcji i powtórzenia testów w nowej konfiguracji. Wszystkie te doświadczenia są prowadzone przy wykorzystaniu bardzo niewielkiej mocy, zwykle poniżej 20 kW. Zbyt duża moc powoduje wypalenie materiału jądrowego zakłócając wyniki doświadczeń i powodując konieczność używania zdalnie sterowanych manipulatorów oraz stosowanie osłon, co dodatkowo utrudnia szybką zmianę konfiguracji rdzenia. W większości używanych zestawów krytycznych, ze względu na małą moc nie stosuje się specjalnych systemów chłodzenia. Obecnie na świecie wykorzystywanych jest ok. 60 zestawów krytycznych. Ilość pracujących zestawów jest zmienna, ponieważ po przeprowadzeniu podstawowych pomiarów, niezbędnych do zaprojektowania określonego typu reaktora i wykonaniu innych dodatkowych doświadczeń są one likwidowane. Nowsze wersje zestawów krytycznych są dostosowane do nowych wymagań.

W celu lepszego wykorzystania reaktorów badawczych przy współpracy Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej utworzono dwa międzynarodowe centra badawcze w Saclay we Francji i Dimitrowgradzie w Rosji dostępne dla członków MAEA.

### Rodzaje reaktorów badawczych

Ogromna różnorodność konstrukcji reaktorów badawczych wymaga indywidualnego dostosowania metod kontroli dla każdego typu reaktora. Przy opracowywaniu metody kontroli należy zwrócić uwagę na przeznaczenie reaktora, rodzaj paliwa jego wzbogacenie i ilość, moderator neutronów, sposób chłodzenia, moc. Dla każdego typu należy również określić jakie elementy jego konstrukcji i działania, które są istotne z punktu widzenia systemu zabezpieczeń.

Tabela 1. Typy reaktorów badawczych  
Table 1. Research reactors types

REAKTORY BADAWCZE					
Typ reaktora	Paliwo wzbogacenie	Moderator chłodziwo	Rdzeń [kg]	Moc [MWt]	Kontrola
Materials Testing Reactor	18% U, 82% AL. 20% - 90%	H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	5-50 <sup>235</sup> U	30-50	Świeże i wypalone paliwo o wzbogaceniu ≥ 20% <sup>235</sup> U, sprawdzanie Pu i <sup>233</sup> U w czasie przeładowania rdzenia
Training Research Isotope Production General Atomic	8% U, 92% ZrH	19,9 % LEU ZrH/H <sub>2</sub> O	2-4 <sup>235</sup> U	10 kWt – 100 MWt	Wytworzone Pu i <sup>233</sup> U, sprawdzenie w czasie przeładowania rdzenia, otwarty basen rdzenia
Heavy Water Moderated Resarch Reactor	HEU	D <sub>2</sub> O/ D <sub>2</sub> O lub H <sub>2</sub> O	1,5-4 <sup>235</sup> U	5-200	Wytworzone Pu i <sup>233</sup> U sprawdzenie w czasie przeładowania rdzenia, sprawdzenie wydajności wytwarzania Pu
	NU	D <sub>2</sub> O/ D <sub>2</sub> O lub H <sub>2</sub> O	29-100 <sup>235</sup> U	5-200	Wytworzone Pu i <sup>233</sup> U sprawdzenie w czasie przeładowania rdzenia, sprawdzenie wydajności wytwarzania Pu

REAKTORY BADAWCZE					
Typ reaktora	Paliwo wzbogacenie	Moderator chłodziwo	Rdzeń [kg]	Moc [MWt]	Kontrola
Liquid Homogeneous Uranium	Uranyl roztwór siarczynu lub azotanu siarkowego 10%-95%	D <sub>2</sub> O/ D <sub>2</sub> O lub H <sub>2</sub> O	600-1500 <sup>235</sup> U	< 0,1	HEU, <sup>235</sup> U i Pu w roztworze, gdy są wytwarzane izotopy i zachodzi proces konwersji paliwa lub tryb powielania utrudniające prowadzenie bilansu materiałowego
Liquid Thorium Molten Salt Reactor	Mieszanki Fluorków Li, Be, Zr, U 33% <sup>235</sup> U	Grafit Fluorki Li, Be	~ 100 <sup>235</sup> U lub <sup>233</sup> U	7-8	HEU, <sup>233</sup> U oraz wytworzone Pu i <sup>233</sup> U sprawdzenie w czasie przeładowania rdzenia,
Graphite Moderated Research Reactor	NU lub HEU do 93 %	Grafit lub powietrze	NU 385 HEU 50-57 <sup>235</sup> U	0,03-0,04	Możliwe wytwarzanie Pu i <sup>233</sup> U, Materiały mogą być rozmieszczone w kilku miejscach
Pebble Bed Modular Reactor	LEU (kule grafitowo-uranowe) 17 %	Grafit Hel	~ 20-30 1 g/kula	10	Poważne utrudnienia trudności pomiarowe świeżego i wypalonego paliwa, Przeładowanie rdzenia w czasie pracy reaktora. Utrudnienia prowadzenia bilansu materiałowego
Argonaut (Argonne Nuclear Assembly for training)	HEU 20%-90%	H <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	~ 1-10	0,01-01	HEU
ZESTAWY KRYTYCZNE					
Zestawy o konstrukcji pionowej prędkie	Tlenki Pu i U metaliczne Pu i U 95% lub 37,5%	-	350 93% <sup>235</sup> U 150 37,5% <sup>235</sup> U i 100 Pu	W-kW	HEU, kontrola w czasie zmiany konfiguracji
Zestawy o konstrukcji pionowej (termiczne)	Tlenki Pu i U MOX > 20%	Grafit lub D <sub>2</sub> O/H <sub>2</sub> O	20-150 <sup>235</sup> U lub 60 Pu	W-kW	Wytworzone Pu i <sup>233</sup> U, HEU, kontrola w czasie zmiany konfiguracji
Zestawy o konstrukcji poziomej prędkie	Tlenki Pu i U MOX		40-550 <sup>235</sup> U 250 Pu lub ≤ 3000	≤ MW	Wytworzone Pu i <sup>233</sup> U, HEU, kontrola w czasie zmiany konfiguracji

Konstrukcja rdzeni reaktorów badawczych jest w każdym typie inna i różne są systemy chłodzenia dlatego weryfikacja materiałów jądrowych, możliwa w czasie przeładowywania paliwa, wymaga czasem stosowania specjalnie opracowanej metody pomiarowej, jak i specjalnie opracowanych przyrządów. Związane to jest również z różnorodnością konstrukcji paliwa. Może być ono w postaci płytek lub cylindrów łączonych w zestawy, prętów, pastylek, pojedynczych małych płytek o różnych wymiarach, kul lub ciekłych roztworów. Innym ważnym parametrem wymagającym pomiarów jest określenie ilości plutonu: wytwarzanego głównie w reaktorach o podwyższonej mocy (25 MWt) i zmagazynowanego w całym obiekcie. W tabeli podano elementy istotne dla weryfikacji bilansu materiałowego w reaktorach badawczych.

### System zabezpieczeń w reaktorach badawczych

Celem systemu zabezpieczeń jest sprawdzenie, czy deklarowana działalność lub materiały nie są wykorzystywane do wytwarzania broni jądrowej. Kontrola obejmuje przede wszystkim materiały, które mogą być użyte do budowy jądrowych materiałów wybuchowych. W 1992 r. postanowiono, że umowa o zabezpieczeniach

wszechstronnych powinna obejmować wszystkie materiały jądrowe (nie tylko rozszczepialne) znajdujące się w posiadaniu państwa. Postanowiono rozszerzyć uprawnienia MAEA o mechanizmy umożliwiające wykrywanie ewentualnych ukrytych działań, jak i tych materiałów jądrowych, które nie są deklarowane. Opracowano i podpisano *rozszerzenie Traktatu NPT* tzw. *Protokół Dodatkowy (Additional Protocol)*, zapewniający MAEA pełną możliwość niezależnej weryfikacji wszystkich materiałów jądrowych oraz ujawnienia ewentualnych ukrytych działań. Dalszym rozszerzeniem Traktatu jest tzw. *umowa o małych ilościach (Small Quantities Protocol – SQP)*, wprowadzona po raz pierwszy w 1971 r., a od roku 2005 stanowiąca integralną część Traktatu. Pozwala to połączyć wszystkie środki dostępne MAEA w celu osiągnięcia maksymalnej skuteczności i wydajności systemu zabezpieczeń na poziomie całego państwa. Na poziomie obiektu umożliwia rozszerzenie wprowadzenia dodatkowych narzędzi systemu np. zdalnego monitorowania aparatury kontrolnej, wykonywanie zdjęć satelitarnych obiektu, wprowadzenie wyrywkowych niezapowiedzianych inspekcji itp. Umożliwia zmniejszenie częstotliwości i liczby kontroli.

Opracowanie systemu zabezpieczeń w obiekcie jest opisane w dokumencie „podejście do wprowadzenia

zabezpieczeń": (*Design of Safeguards Approach*), w którym podany jest ciąg czynności koniecznych do przygotowania odpowiednich dokumentów, dla każdego obiektu, zgodnie z wymaganiami MAEA, tak aby poszczególne procedury były, jak najbardziej ujednolicone i uwzględniały wszystkie parametry (np. czas między inspekcjami, ilość progową materiału, znaczącą ilość materiału itd.). Podstawowym dokumentem wyjściowym umożliwiającym zaprojektowanie systemu zabezpieczeń jest tzw. informacja projektowa.

Informacja projektowa (*Design Information*) jest zbiorem podstawowych informacji o obiekcie zawierającym informacje identyfikujące obiekt: jego charakterystykę ogólną, położenie geograficzne, adresy urzędowe, postać, ilość, rozmieszczenie i przepływ materiału jądrowego, szczegółowe opisy materiałów jądrowych, plan obiektu z uwzględnieniem elementów, w których materiał jest wytwarzany lub przetwarzany, elementów związanych ewidencją materiału stosowanego, system zamykania i nadzoru, opis procedur ewidencji i przeprowadzania spisu z natury, system pomiarów, rejonów bilansu, opis kluczowych punktów pomiarowych.

Informacje projektowe są przygotowywane przez Państwo zgodnie z ujednoliconymi wymaganiami, specjalnej ankiety MAEA tzw. Kwestionariusz Informacji Projektowej (*Design Information Questionnaire – DIQ*). W przypadku reaktorów badawczych sprawdzenie informacji projektowej (*Design information examination – DIE*) jest szczególnie ważne, ponieważ są one wykorzystywane do wykonywania wielu różnorodnych zadań i eksperymentów wymagających czasem modyfikacji konstrukcji i zmian używanych materiałów jądrowych. W celu wzmocnienia systemu zabezpieczeń wprowadzono okresową obowiązkową weryfikację informacji projektowej (*Design information verification – DIV*) prowadzoną przez MAEA bezpośrednio na terenie obiektu, polegającą na sprawdzeniu poprawności i kompletności przedstawionej informacji projektowej, szczególnie gdy zostały wprowadzone zmiany.

Najważniejszym celem systemu zabezpieczeń jest jak najszybsze wykrycie niezadeklarowanego usunięcia znaczącej ilości materiału jądrowego z obiektu lub wykorzystanie obiektu do wprowadzenia produkcji, lub przerobu materiału, który nie został zadeklarowany. Znacząca ilość materiału (*Significant quantity (SQ)*) jest to przybliżona ilość materiału rozszczepialnego, dla której nie można wykluczyć prawdopodobieństwa budowy jądrowego urządzenia wybuchowego przy zastosowaniu różnych metod przetwarzania materiału.

Jednym z ważniejszych elementów planowania działań systemu zabezpieczeń jest określenie planowanej rzeczywistej intensywności zwykłych inspekcji (*Planned actual routine inspection effort (PLARIE)*) tzn. określenie spodziewanej intensywności zwykłych inspekcji uwzględniającą rzeczywistą pracę obiektu np. wydłużone wyłączenia, roczny przepływ materiałów itd. W tabeli 1

Tabela 2. Znacząca ilość materiału [SQ]

Table 2. Significant quantity [SQ]

Postać materiału	Materiał jądrowy	SQ [kg]
Do bezpośredniego wykorzystania	Pu	8
	<sup>233</sup> U	8
	HEU ( <sup>235</sup> U ≥ 20%)	25
Wymagający wstępnego przygotowania	LEU ( <sup>235</sup> U ≤ 20%)	75
	NU	10 000

HEU – Uran o wzbogaceniu powyżej 20%. Stosunek sumarycznej wagi izotopów U<sup>233</sup> i U<sup>235</sup> do całkowitej wagi używanego uranu wyrażany w %.

LEU – Uran o wzbogaceniu poniżej 20%.

NU – Uran naturalny

podano wielkość SQ dla materiałów używanych w reaktorach badawczych, a poniżej zalecenia planowania ilości inspekcji w reaktorach badawczych.

Każdy rodzaj materiału jądrowego używanego w obiekcie, którego ilość przekracza 1 SQ, powinien być weryfikowany raz do roku w czasie przeprowadzanej spisu materiału z natury (*Physical Inventory Taking – PIV*). Jeżeli w obiekcie ilość świeżego paliwa HEU lub Pu jest mniejsza od 1SQ, a całkowita ilość materiału HEU lub Pu przekracza 1SQ, materiał jądrowy powinien być sprawdzany 4 razy w roku. Gdy ilość każdego rodzaju materiału jądrowego nie przekracza 1SQ, a całkowita ilość materiału używana w obiekcie nie przekracza 0,5 SQ weryfikacja powinna być dokonywana co 4 lata. Oczywiście są to zalecenia ogólne, które mogą być korygowane przez MAEA w zależności od obowiązujących kryteriów (*Safeguards criteria*) nowelizowanych okresowo i ustanawiających zestaw działań niezbędnych do wypełnienia wymagań Traktatu NPT.

Jak już wspomniano, podstawowym celem kontroli materiałów jądrowych jest zbudowanie systemu, który poprzez długoterminowe działania kontrolne uniemożliwiłby m.in. wyprowadzenie ilości materiałów wystarczającej do konstrukcji jądrowych urządzeń wybuchowych lub do skażenia środowiska. Przewidywane są różne scenariusze nadużyć jak kradzież, ukrycie, fałszerstwo bilansu materiałowego, nieprawidłowości w raportach, zastąpienie elementów zawierających materiały jądrowe ich atrapami itp.

Materiały jądrowe zawierające <sup>235</sup>U i Pu ze względu na możliwość zbudowania przy ich użyciu różnego rodzaju broni jądrowej są najbardziej atrakcyjnymi materiałami dla działań nielegalnych. Uzyskanie tych substancji stwarza możliwość wyprodukowania broni jądrowej nie tylko przez Państwa, ale i przez organizacje terrorystyczne, dlatego podlegają one szczególnie dokładnej kontroli.

Przy opracowywaniu systemów weryfikacji materiałów jądrowych używanych w reaktorach badawczych o wyższej mocy od 25 MWt, należy zwrócić uwagę na możliwość wyprodukowania materiałów używanych do budowy broni ww. oraz na znaczne ilości HEU w świeżym paliwie i w wypalonym paliwie MOX. Duże ilości materiałów (HEU, <sup>233</sup>U, Pu) używane w zestawach krytycznych i składowane w ich pomieszczeniach wymagają dodat-

kowych zabezpieczeń i kontroli, ponieważ w większości nadają się one do bezpośredniego wykorzystania do budowy broni. Materiały, które nie są używane powinny być przechowywane w plombowanych pomieszczeniach lub pojemnikach i monitorowane przez systemy obserwacyjno – rejestrujące. W czasie pracy reaktorów o podwyższonej mocy w doświadczeniach z naświetlaniem materiałów rozszczepialnych powinna być monitorowana moc reaktora, ponieważ umożliwia to kontrolę wytwarzania nowych produktów rozszczepienia potencjalnie użytecznych do celów militarnych.

Jednym z trudniejszych zagadnień związanych z weryfikacją materiałów jądrowych jest zapobieganie zaplanowanej akcji nielegalnego pozyskania materiału jądrowego, niezgodnionego jego przesunięcia do innych celów lub wykorzystania obiektu jądrowego do nielegalnej produkcji, lub przetwarzania materiału. Ważnym elementem kontroli jest czas wykrycia przesunięcia (*Detection Time*) określany jako maksymalny przedział czasu pomiędzy dokonaniem przesunięcia a wykryciem go przez inspektorów MAEA. Nie powinien on przekraczać czasu konwersji. Czas konwersji (*Conversion time*) – jest czasem potrzebnym do przekształcenia różnych postaci materiału jądrowego do postaci metalicznej stanowiącej podstawowy element jądrowego urządzenia wybuchowego. Nie obejmuje on potrzebnego czasu do transportu materiału i montażu urządzenia. Mimo że rdzenie reaktorów badawczych zawierają mniejszą liczbę zespołów paliwowych i mniej materiału jądrowego to w większości obecnie używanych reaktorów badawczych można wykorzystywać metody weryfikacji materiałów stosowane w reaktorach energetycznych. Pewnym ograniczeniem tego jest fakt, że materiały jądrowe reaktorów badawczych zawierają HEU i MOX rzadko używane w reaktorach energetycznych. W niektórych ośrodkach prowadzone są starania zmiany konstrukcji reaktorów badawczych, tak by można było zastąpić paliwo z HEU przez LEU, co utrudniałoby nielegalne pozyskanie  $^{235}\text{U}$  i Pu. Ochrona przed nieuprawnionymi działaniami (kradzieżą, przesunięciem) materiałów jądrowych zawierających  $^{235}\text{U}$  i Pu w paliwie nowych konstrukcji reaktorów np. z rdzeniem ciekłym lub kulowym (*Liquid homonogeneous, Pebble Bed Reactor*) wymaga innych innowacyjnych rozwiązań. Podobnie nowych rozwiązań wymaga ochrona materiałów składowanych w budynkach reaktorów i używanych do eksperymentów jądrowych. Mogą one występować w postaci cieczy, proszków, granulatu, płytek, prętów itp.

W reaktorach badawczych HEU znajduje się w świeżym paliwie reaktorów i zestawów krytycznych, w używanym paliwie wyładowanym z reaktora po zakończeniu eksperymentu lub produkcji izotopów medycznych (po wypaleniu w elementach paliwowych pozostaje HEU o mniejszym wzbogaceniu – uran zubożony), w pomocniczych prętach paliwowych reaktorów pracujących z NU, w magazynach reaktorów.

Drugim atrakcyjnym pierwiastkiem dla celów militarnych jest pluton, który w reaktorach badawczych można odzyskać ze świeżego paliwa MOX. Uzyskanie go z wypalonego paliwa jest trudniejsze. W niektórych reaktorach badawczych, podobnie jak w reaktorach energetycznych, możliwe jest wytwarzanie plutonu, gdy paliwem jest świeże paliwo zawierające HEU lub LEU. Ilość wytwarzanego plutonu może być znacząca. W reaktorze typu MTR przy odpowiednio dobranych warunkach pracy przy mocy reaktora 39 MWt w ciągu 300 dni można uzyskać ~3,6-5,4 kg/rok Pu. Duże ilości Pu w postaci metalicznej, stopów lub tlenków są używane i składowane w zestawach krytycznych, weryfikacja materiałów jądrowych w tych obiektach jest przeprowadzana co miesiąc.

Innym izotopem uranu potencjalnie nadającym się do budowy broni jądrowej jest  $^{233}\text{U}$ . Jest on uzyskiwany z napromieniowanego paliwa zawierającego tor (Th) tzn. z paliwa, które przebywało w działającym reaktorze jądrowym i może być nadal wykorzystywane w reaktorze, dopóki nie zostanie uznane za wypalone paliwo. Tor jest na razie rzadko używany w reaktorach badawczych, **głównie w reaktorach** z ciekłą solą torową (*Liquid Thorium Molten Salt Reactor*). Wymiana paliwa może w tych reaktorach odbywać się w czasie ich pracy i z usuniętego napromieniowanego paliwa można uzyskiwać izotop  $^{233}\text{U}$ , ale jego wyodrębnienie wymaga złożonych procesów technologicznych. Wprowadzany w tym przypadku system zabezpieczeń powinien być podobny do systemu stosowanego w zakładach przerobu paliwa.

W reaktorach badawczych i zestawach krytycznych używany jest uran niskowzbożony LEU i uran naturalny NU, które mogą być wykorzystywane do innych nie uzgodnionych celów lub być pośrednim źródłem materiałów potrzebnych do produkcji jądrowych środków wybuchowych. Rzadko używany w reaktorach badawczych uran zużyty (wypalony) (DU), w którym zawartość izotopów  $^{233}\text{U}$  i  $^{235}\text{U}$  zmalała w stosunku do stanu początkowego jest również takim źródłem. Zalecenia dotyczące kontroli tych materiałów są podobne, jak dla HEU.

W czasie normalnej pracy reaktora w wyniku wypalania się paliwa jądrowego produkowany jest Pu, którego znaczna część również się wypala. W 1000 MW reaktorze energetycznym powstaje w ciągu roku ~25 t wypalonego paliwa zawierającego ~290 kg Pu, którego wyprodukowanie zgodnie z porozumieniem o zabezpieczeniach powinno być zgłoszone do MAEA. W reaktorach badawczych również powstaje Pu w znacznie mniejszej ilości, ale gdy pracuje ich kilka, ilość Pu może być znacząca i mogą powstać próby niezadeklarowanej produkcji Pu. Wcześniejsze wyładowanie „niedopalonego” paliwa pozwala uzyskać więcej użytecznego Pu dla celów militarnych, ale prowadzi do konieczności częstszego przeładownia rdzenia. Dlatego MAEA zaleca specjalne wzmocnienie weryfikacji materiałów i kontroli reaktorów badawczych o mocy 25 MWt. Aby otrzymać Pu bojowy o składzie  $^{249}\text{Pu}$  93,4%,  $^{249}\text{Pu}$  6,0%,  $^{241}\text{Pu}$  0,6%,

uzyskany tą drogą Pu wymaga dodatkowych operacji technologicznych.

Mimo że, ilość materiałów jądrowych w większości reaktorów badawczych jest niewielka, podobnie jak możliwości wytwarzania materiałów o znaczeniu strategicznym, konieczna jest okresowa niezależna weryfikacja inwentaryzacji z natury bilansu materiałowego. Reaktory badawcze ze względu na swoje przeznaczenie są ważnymi elementami cyklu paliwowego. Zmiany inwentarowe są związane z działalnością prowadzoną w rejonie bilansu materiałowego, stratą materiału jądrowego (*Nuclear loss*) wynikającą z przekształcenia jednego pierwiastka w inny w wyniku reakcji jądrowych zachodzących w reaktorze. Strata jest jednocześnie ściśle powiązana z wytworzeniem materiału jądrowego (*Nuclear production*). Straty materiału jądrowego mogą powstać w wyniku przypadków losowych np. awarii. Zmiany ilości materiału jądrowego mogą być również spowodowane wyłączeniem części materiału lub cofnięciem wyłączenia z systemu zabezpieczeń.

Spis inwentarza z natury dokonany przez operatora przygotowującego wykaz spisu z natury (*Physical inventory listing – PIL*) zawiera informacje o ilości partii materiału, dane identyfikacyjne, dane materiałowe każdej partii. Są to czynności przygotowawcze do przeprowadzenia weryfikacji stanu inwentarza materiałowego przez MAEA (*Physical inventory verification – PIV*). Inspekcje weryfikacyjne są przeprowadzane po zakończeniu uzgodnionego okresu sprawozdawczego. Dla większości typów reaktorów, ze względu na małą aktywność pracy rdzenia i niewielką ilość zmagazynowanego materiału jądrowego spis inwentarza z natury jest jedyną inspekcją PIV przeprowadzaną w ciągu roku.

Weryfikacja obejmuje wszystkie materiały znajdujące się na terenie obiektu, poczynając od nieużywanego paliwa świeżego, paliwa w rdzeniu, paliwa wypalonego i magazynowanych materiałów doświadczalnych. Cechą charakterystyczną reaktorów badawczych, prawie każdego rodzaju, jest ogromna różnorodność materiałów jądrowych zarówno pod względem wzbogacenia, jak i rodzaju materiałów. Część z nich jest wyłączona z użytku i jest zaplombowana. W czasie weryfikacji przeprowadzane są badania nieniszczące pozwalające ocenić skład izotopowy i chemiczny materiału bez niszczenia mierzonej próbki. Próbki są wybierane losowo ze zbioru elementów materiału o jednakowym składzie, przy użyciu dowolnych metod losowania np. generatora liczb losowych. Do pomiarów wykorzystywane są wszystkie dostępne i autoryzowane do użycia przez MAEA przyrządy. W niektórych reaktorach ze względu na specyfikę ich konstrukcji używane są specjalnie opracowane metody weryfikacji (np. identyfikacja elementów paliwowych przez porównywanie ich spawów ze zdjęciami tych spawów wykonanych przez wytwórcę paliwa) lub opracowane specjalne przyrządy pomiarowe składu izotopowego materiałów jądrowych w elementach o nie

typowej postaci. W wielu przypadkach, gdy weryfikacja jest zbyt skomplikowana i kosztowna możliwe jest, po uzgodnieniach, wspólne korzystanie z przyrządów operatora lub MAEA (czasem wymiennie). W przypadku reaktorów badawczych o mocy > 25 MWt MAEA może zainstalować monitory śledzące pracę w celu dokładniejszej weryfikacji deklaracji operatora. W przechowalnikach (magazynach) materiałów jądrowych MAEA często instaluje się systemy obserwacyjne – rejestrujące, które na specjalnych warunkach mogą być połączone satelitarnie z centralą. Niekiedy w przejściach między pomieszczeniami reaktora lub wyjściami z budynku montowane są detektory promieniowania pozwalające śledzić ruch materiałów jądrowych.

W opracowaniu przedstawiono „klasyczne” rozwiązania systemu zabezpieczeń stosowane obecnie w reaktorach badawczych. Ponieważ testowane są zupełnie nowe propozycje budowy reaktorów, muszą być opracowywane nowe i dokładniejsze metody weryfikacji dla na razie rzadkich rozwiązań, jak np. reaktorów z rdzeniem kulowym, reaktorów z ciekłymi solami czy dla projektowanych reaktorów modularnych.

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

#### Literatura:

- [1] Leksykon angielsko-polski energetyki jądrowej J. Kaniewski, W. Kiełbasa, Ł. Koszuc, A. Kuczynski, M. Rabiński, K. Rzymkowski, Ad. Strupczewski, A. Strupczewski Ministerstwo Energii, Warszawa (2016) status: Wysłane do opublikowania.
- [2] Dixon G.W. Critical Assembly Facility Characterization IAEA 1985 Vienna.
- [3] Rzymkowski Krzysztof, Zestawy krytyczne, EKOATOM Nr10/2013 Wrzesień, Warszawa.
- [4] Rzymkowski Krzysztof, Pośrednia kontrola materiałów jądrowych, BJOR PAA, Nr1(103)2014 Warszawa.
- [5] Rzymkowski Krzysztof, Kontrola materiałów jądrowych PTJ 2-2011 Vol. 54 X. 2 Warszawa.
- [6] Rzymkowski Krzysztof, Międzynarodowy system zabezpieczeń przed rozprzestrzenianiem broni jądrowej Safeguards PTJ Vol. 50 Z.4 2007 Warszawa.
- [7] Dixon G.W., Research Reactors Facility Characteristics, IAEA 1985 Vienna.
- [8] Pan Paul, Boyer Brian, Murphy Chantel, Guidance for Research reactors and Critical Assembly, LA-UR-12-26349 2012 NIS.
- [9] Sayed A. EL- Mongy, Overview of Research Reactors (RR) Worldwide and their Applications, Nuclear Regulatory Authority 2018 Egipt.
- [10] Power James A., Safeguarding Research Reactors, IAEA 1983 Vienna.
- [11] Bruce Reid, Kory Budlong-Sylvester, George Anzelon, Strengthening IAEA Safeguards for Research Reactors, U.S. Department of Energy 201613, Research Reactors IAEA Bulletin 2019.

# ARC-NUCLÉART 50 LAT RADIACYJNEJ KONSERWACJI OBIEKTÓW O ZNACZENIU HISTORYCZNYM

## ARC-NUCLÉART – 50 years of radiation conservation of historical objects



Laurent Cortella, Christophe Albino, Quoc Khoi Tran,  
Karine Froment, Wojciech Głuszewski

**Streszczenie:** Artykuł powstał z okazji 50 rocznicy utworzenia radiacyjnego laboratorium badawczego i profesjonalnej pracowni konserwacji dzieł sztuki ARC-NucleArt (*Atelier de Recherche et de Conservation Nucléart*). Przypomniano historię tej zasłużonej dla ratowania obiektów historycznych placówki. Jest ona pionierem w zastosowaniu technik radiacyjnych do dezynsekcji, dezynfekcji i konsolidacji. Krótko omówiono zasady wykorzystania promieniowania jonizującego do ratowania zagrożonych insektami, grzybami i bakteriami obiektów archeologicznych i dzieł sztuki. W przeglądzie literaturowym odsyłamy do publikacji podsumowujących światowe badania w zakresie radiacyjnej konserwacji różnych materiałów.

**Abstract:** The article was created on the occasion of the 50th anniversary of the creation of the radiation research laboratory and professional art conservation studio ARC-NucleArt (*Atelier de Recherche et de Conservation Nucléart*). The history of this institution merited for saving historical objects was recalled. She is a pioneer in the application of radiation techniques for disinfection, disinfection and consolidation. The principles of using ionizing radiation to rescue archaeological sites and works of art endangered by insects, fungi and bacteria are briefly discussed. In the literature review, we refer to publications summarizing the global research in the field of radiation conservation of very different materials.

**Słowa kluczowe:** konserwacja, radioliza, promieniowanie jonizujące, dezynsekcja, dezynfekcja, radiacyjna konsolidacja, dzieła sztuki, archeologia

**Keywords:** conservation, radiolysis, ionizing radiation, dissection, disinfection, radiation consolidation, works of art, archeology

### Wstęp

Pół wieku temu francuski Komisariat ds. Energii Atomowej i Alternatywnych Źródeł Energii (CEA) powołał do życia w Grenoble radiacyjną pracownię konserwacji obiektów istotnych dla dziedzictwa kulturowego. CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives) to organizacja naukowo badawcza działająca w zakresie energetyki, obrony, bezpieczeństwa, technologii informatycznych oraz medycznych. Jej dewizą jest dbanie o interdyscyplinarną kulturę inżynierów i naukowców, opierającą się na synergii między badaniami podstawowymi i technologicznymi.

W latach 1970 i 1973 przy konserwacji historycznego parkietu i średniowiecznych przedmiotów drewnianych po raz pierwszy wykorzystano promieniowanie jonizujące. Wyrazem uznania dla osiągnięć naukowych pracowni było powierzenie jej w roku 1977 dezynfekcji mumii Ramzesa II, którą przetransportowano z Egiptu. W roku 1981 w ramach partnerstwa między CEA,

Dyrekcją Muzeów Francji i Miastem Grenoble, utworzono Centrum Badań i Konserwacji Mokrego Drewna (CETBGE).

ARC-Nucléart jest pionierem w stosowaniu radiacyjnych technologii do ochrony dzieł sztuki. Nieprzerwanie od lat 70. wykorzystuje basenowe źródło promieniowania gamma do dezynsekcji, dezynfekcji i radiacyjnej konsolidacji [1]. Podobne prace prowadzone są na świecie, przez wiele innych instytucji dysponujących dużymi źródłami promieniowania jonizującego. W żadnym jednak przypadku działalność ta nie jest nakierowana wyłącznie na ratowanie obiektów historycznych. Zwykle jest to połączone z modyfikacją materiałów dla innych celów, najczęściej radiacyjną sterylizacją wyrobów medycznych lub konserwacją ziół, przypraw ziołowych i żywności.

### Radiacyjna konserwacja

Radiacyjną konserwacją obiektów istotnych dla dziedzictwa kulturowego są wszelkiego rodzaju dzia-

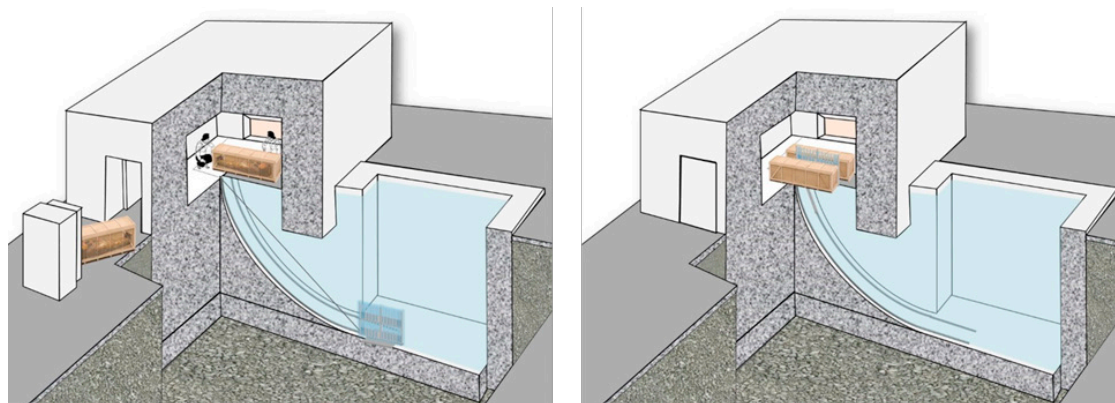


łania prowadzone z użyciem promieniowania jonizującego mające na celu zahamowanie trwającego procesu degradacji przedmiotów lub grupy przedmiotów bądź utrwalenia najbardziej delikatnych artefaktów. Różni się ona od konserwacji zapobiegawczej, która odnosi się do działań pośrednich mających na celu unikanie i minimalizowanie przyszłego pogorszenia stanu obiektu. Zgodnie z zasadą deontologiczną konserwacja musi obejmować koncepcję minimalnej interwencji. Zabiegi radiacyjnej dezynsekcji i dezynfekcji prowadzić można w dowolnej temperaturze. Najczęściej jest to temperatura otoczenia (rzadziej ujemna). Co bardzo istotne zabiegi takie nie wprowadzają do materiału dodatkowych zanieczyszczeń.

które zawsze zwraca się szczególną uwagę. Dozymetrią (kontrolą dawki pochłoniętej promieniowania) można łatwo zarządzać na podstawie pomiarów rozkładu mocy dawki i czasu napromieniowania.

### Dezynfekcja

W walce z pleśniami i grzybami stosuje się dawki od 3 do 10 kGy. Obniża się ten sposób zanieczyszczenia do akceptowalnego poziomu dla tzw. „zdrowego” muzeum lub pomieszczenia magazynowego. Całkowita sterylizacja nie jest potrzebna gdyż zarodniki grzybów są i tak zawsze obecne w powietrzu.



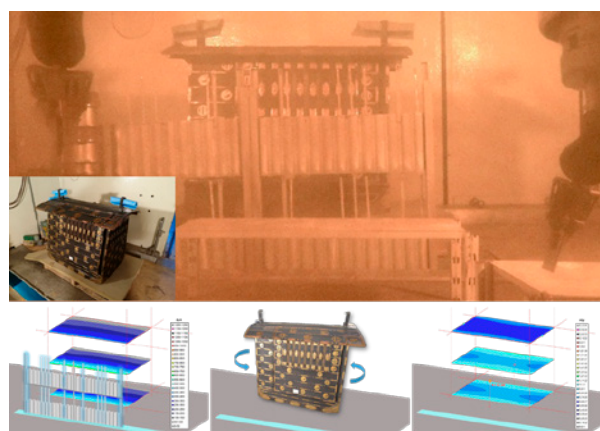
**Rys. 1.** Zasada działania basenowego źródła promieniowania gamma w ARC-NUCLÉART. Pręty z radioaktywnym  $^{60}\text{Co}$  wciągane są do bunkra (komory napromieniowania) z basenu wodnego o głębokości 8 m. Wcześniej w komorze napromieniowania umieszczane są obiekty przeznaczone do konserwacji. (© ARC-Nucléart)

**Fig. 1.** Principle of operation of the pool gamma radiation source in ARC-NUCLÉART. The  $^{60}\text{Co}$  radioactive rods are pulled into the bunker (irradiation chamber) from an 8 m deep water basin. Prior to this, the irradiation chamber contains objects for maintenance. (© ARC-Nucléart)

W ARC obróbce radiacyjnej poddano wiele tysięcy artefaktów, od skromnych wyrobów sztuki ludowej po najbardziej prestiżowe eksponaty archeologiczne. Czas napromieniowania zmienia się od kilku godzin dla dezynsekcji do kilkudziesięciu godzin w przypadku dezynfekcji.

### Dezynsekcja

Eliminacja owadów jest najczęstszym zabiegiem radiacyjnej konserwacji. Próg wymagany do osiągnięcia deterministycznej śmierci dowolnych rodzajów owadów został eksperymentalnie ustalony na poziomie 500 Gy. Eliminuje się w ten sposób jaja i powoduje bezpłodność form dorosłych insektów. Żyją one po napromieniowaniu jeszcze od 2 do 3 tygodni. Zwiększając dawkę do 2 kGy można skrócić ten czas do kilku dni. Oprócz niektórych rzadkich przeciwwskazań technika radiacyjna jest bezpieczna dla bardzo szerokiego zakresu materiałów [2]. Minimalną dawkę ustala się z punktu widzenia oczekiwanego celu biologicznego. Maksymalną dawkę, której nie należy przekraczać, ocenia się po analizach potencjalnych działań niepożądanych, na



**Rys. 2.** Dezynsekcja japońskiego ślubnego palankinu (lakierowane drewno, ozdoby ze stopu miedzi, dekoracje wewnętrzne w formie tapet, jedwab, XIX wiek, muzeum Saint-Rémi w Reims). Rozkład dawki obliczono przy założeniu obrócenia eksponatu w połowie napromieniowania. (© ARC-Nucléart)

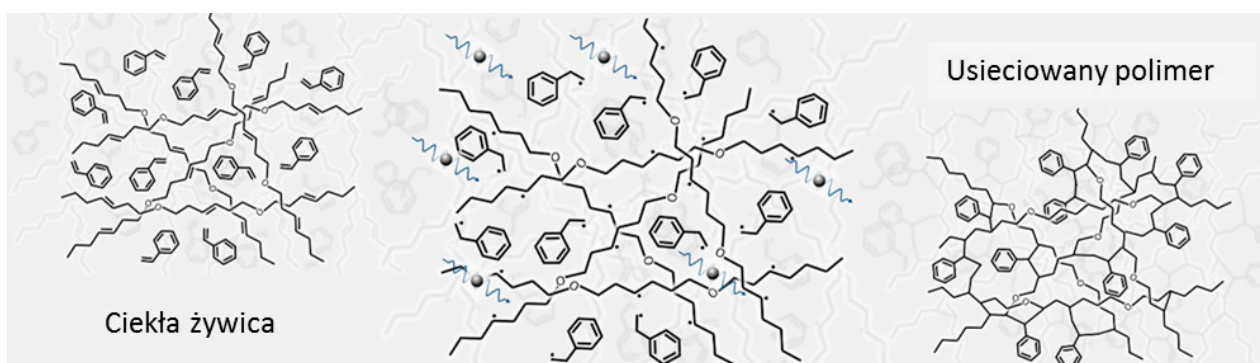
**Fig. 2.** Disinfestation of Japanese wedding palanquin (varnished wood, copper alloy decorations, interior decorations in the form of wallpaper, silk, 19th century, Saint-Rémi museum in Reims). The dose distribution was calculated assuming the exhibit was rotated at half irradiation. (© ARC-Nucléart)

## Radiacyjna konsolidacja

Tak zwana radiacyjna konsolidacja powoduje objętościowe wzmocnienie porowatego materiału w wyniku inicjowanych promieniowaniem jonizującym polimeryzacji monomerów i sieciowania żywic. We Francji stosuje się najczęściej żywice typu styren/nienasycony poliester. Wcześniej prowadzi się impregnację materiału techniką próżniowo-ciśnieniową. Zabieg taki w odróżnieniu od klasycznych metod z użyciem poli(tlenku etylenu) można wykonać w bardzo krótkim czasie. Osiągnięta w ten sposób konsolidacja jest szczególnie stabilna, ale nieod-

pięnie ilustrowany kolejny raport z działalności ARC, który ukazał się w tym roku [6].

Laurent CORTELLA,  
Christophe ALBINO,  
Quoc Khoi TRAN,  
Karine FROMENT,  
ARC-Nucléart, France  
Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



Rys. 3. Schemat radiacyjnej konsolidacji. (© ARC-Nucléart)  
Fig. 3. Radiation consolidation scheme. (© ARC-Nucléart)

wracalna. Dlatego konsolidacja jest celowo ograniczana do uzasadnionych przypadków, w których konserwacja nie może być osiągnięta za pomocą mniej inwazyjnych środków. Jest to najczęściej tzw. konserwacja „ostatniej szansy” i dotyczy najczęściej znacznie zdegradowanych rzeźb drewnianych lub sytuacji, gdy wymagane jest uzyskanie funkcjonalnej wytrzymałości mechanicznej. Dzięki wysokiej stabilności chemicznej usiewanego polimeru jest również stosowana do konserwacji mokrego drewna archeologicznego, szczególnie w obecności nierozłącznych części metalowych, które podlegałyby korozji w konwencjonalnych metodach [3].

## Podsumowanie

Przykład ARC pokazuje jak w unikatowy sposób można wykorzystać techniki radiacyjne do konserwacji obiektów ważnych dla dziedzictwa kulturowego [4]. Należy podkreślić, że prowadzone od ponad pół wieku badania nad wpływem promieniowania jonizującego na historyczne materiały pozwoliły wyodrębnić grupy obiektów, które się do takich zabiegów nadają. Prace te przez wiele lat były koordynowane przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej. ARC-Nucléart współpracuje z instytucjami z całego świata i podejmuje się najtrudniejszych przypadków ratowania dzieł sztuki [5]. Ważnym elementem działalności, jest również promocja wiedzy na temat technik radiacyjnych w identyfikacji i konserwacji dzieł sztuki. Godny polecenia jest

## Literatura:

- [1] Chaumat G., Albino C. and Tran K., (2011). 'A new protocol suitable for the treatment of composite archaeological arte-facts: PEG treatment + freeze-drying + radiation-curing resin consolidation'. *Proceedings of International Conference on Shipwrecks: Chemistry and Preservation of Waterlogged Wooden Shipwrecks*, Royal Institute of technology, Stockholm, pp. 167-171.
- [2] Cortella L., Albino C., Tran Q.-K., Froment K., (2020). "50 years of French experience in using gamma rays as a tool for cultural heritage remedial conservation", *Radiation Physics and Chemistry*, 171, 108726, DOI: 10.1016/j.radphyschem.2020.108726.
- [3] IAEA (2017). *Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation*. IAEA Radiation Technology Series N 6, International Atomic Energy Agency, Vienna.
- [4] Głuszewski W., Zagórski Z.P., Tran Q.K., Cortella L., (2011). Maria Skłodowska Curie – the precursor of radiation sterilization methods. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 400: 1577-1582. DOI: 10.1007/s00216-011-4699-7.
- [5] Głuszewski W., Khôi Tran, Cortella L., Abbasova D., (2016). Radiacyjna modyfikacja celulozy i konsolidacja radiacyjna, *Tworzywa Sztuczne w Przemysle*, 3, 98-99.
- [6] ARC-Nucléart, (2020). *Rapports d'activité, 2017-2018*, 134 strony.
- [7] Głuszewski W., Khoi Tran., Cortella L., (2017). Radioliza naturalnych i syntetycznych polimerów a ochrona dziedzictwa kulturowego, *Tworzywa Sztuczne w Przemysle*, 6, 44-45.
- [8] Głuszewski W., (2015). Unikatowe cechy radiacyjnej konserwacji dużych zbiorów obiektów o znaczeniu historycznym, *Postępy Techniki Jądrowej*, 58, 1, 19-23.

# COVID-19 A NIEWIELKIE DAWKI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

## COVID-19 and small doses of ionizing radiation

Ludwik Dobrzyński

**Streszczenie:** COVID-19 jest, jak dotąd, chorobą, na którą nie mamy leków ani szczepionek. Niniejsza praca sugeruje, że w sytuacji beznadziejności, gdy umiera wielu ludzi, warto sięgnąć do metod sprawdzonych kilkadziesiąt lat temu, a mianowicie użycia niskich dawek promieniowania jonizującego. Pierwsze doświadczenia kliniczne są zachęcające i stosunkowo wiele ośrodków medycznych wyraża zainteresowanie taką techniką.

**Abstract:** COVID-19 is an illness which cannot be as yet treated by medication and vaccines are not available so far. The paper suggests that under present circumstances of helplessness when so many people die, one could use the method which was checked already few tens of years ago, namely the use of the low doses of ionizing radiation. The first clinical results are encouraging, and many medical centers express their interest in such a technique.

**Słowa Kluczowe:** COVID-19, wirus SARS-CoV-2, promieniowanie jonizujące, radioterapia małymi dawkami

**Keywords:** COVID-19, SARS-CoV-2 virus, ionizing radiation, low-dose radiotherapy

### Wstęp

Od kilku miesięcy uczymy się żyć i walczyć z chorobą nazywaną COVID-19. Decyzje o noszeniu masek, o utrzymywaniu „odstępów społecznych” między ludźmi, liczne kwarantanny i wysyłanie ludzi do pracy zdalnej powodują zmęczenie i zniechęcenie, nie wspominając o ogromnych stratach dla gospodarki. Lekarze i personel pielęgniarski narażony jest, jak nigdy dotąd na zarażenie chorobą, która atakuje i niszczy płuca, a często kończy się śmiercią. Wirus SARS-CoV-2, przenoszący się drogą kropelkową od osoby zarażonej (często nie wykazującej niebezpiecznych objawów, a więc bez jej świadomości, że zaraża innych), w ok. 20% przypadkach powoduje ostre zapalenie płuc u osób z objawami, a u ok. 10% pacjentów z takim zapaleniem, szczególnie u osób starszych, może się ono zakończyć zgonem wskutek niewydolności oddechowej, pomimo intubowania i wspomagania respiratorem. Ostatnie doniesienia wskazują również na łatwość, z jaką wirus SARS-CoV-2 uodparnia się pod wpływem farmakoterapii, przekształcając się w szczepy bardziej odporne. Chociaż najbardziej narażonymi są ludzie starsi, choroba i śmierć nie omijają także ludzi w średnim wieku, a nawet młodszych.

Część społeczeństw ogarnia panika, nieliczni nawołują do zachowania zimnej krwi i wykazują, że „strach ma wielkie oczy”, inni sądzą, że w gruncie rzeczy możemy nabrać „odporności stadnej” (vide Szwecja, Holandia i w jakiejś mierze Wielka Brytania) zarażając się od siebie, jeszcze inni są skłonni postrzegać COVID-19 jako jedynie inny wariant zwykłej grypy, czy zapalenia płuc. Jak pisze D.L. Katz: „...jeśli będziemy umieli ochraniać ludzi najbardziej podatnych na działanie wirusa, można będzie przywrócić spo-

*kój. Równie istotną rzeczą jest, że społeczeństwo jako całość może nabrać stadnej odporności immunologicznej. Znaczna większość ludzi zostanie wtedy wprowadznie łagodnie zainfekowana, ale służby medyczne będą mogły koncentrować się na tych krytycznie chorych. Gdy szeroka część populacji zostanie ekspozowana na działanie wirusa i po wypadku zainfekowania wyzdrowieje oraz zdobędzie naturalną odporność, ryzyko tych najbardziej podatnych dramatycznie spadnie”. [1]. Takie podejście brzmi sensownie, jednak widzimy, że typowa grypa zabija znacznie mniej niż 1% zarażonych. W wypadku COVID-19 ta średnia to ok. 3% i wzrasta do 8-9% w wypadku pacjentów w wieku 70-79 lat i do ok. 15% u pacjentów powyżej 80 lat. [2]. W obliczu realnych działań prewencyjnych, których jesteśmy świadkami, pozostaje jednak pytanie o akceptowalną wysokość kosztów społecznych i ekonomicznych.*

Lekarze i uczeni na całym świecie rozpaczliwie szukają remedium na chorobę COVID-19, a sukcesy tych poszukiwań są na dziś niezbyt wielkie. Z dużą radością należy więc przyjąć fakt, że w Polsce zaczyna się produkcja leku opartego na przeciwciałach osób wyleczonych z COVID-19. Terapia ta została ostatnio dopuszczona do prób w USA przez FDA (Food and Drug Administration), jednak nie bez pewnego ryzyka, jako że ta decyzja została podjęta bynajmniej nie w oparciu o jednoznaczne wyniki.

Na dziś choroba wygrywa i wcale nie jest pewną rzeczą, że w ostatecznym rozrachunku to my wygramy, a jeśli nawet, to zwycięstwo może być pyrrusowym. Główne działania są skierowane na farmację, w tym na wynalezienie efektywnych szczepionek i leków. Z wieloma lekami jest jednak tak, że z czasem wirusy stają się coraz bardziej na nie odporne i jesteśmy skazani na niemal

permanentną walkę – tak jak w wypadku antybiotyków, które systematycznie musimy zmieniać lub udoskonalać. Również i w rozpatrywanym przypadku, ostatnie doniesienia wskazują na łatwość, z jaką wirus COVID-19 (SARS-CoV-2) uodparnia się pod wpływem farmakoterapii, przekształcając się w szczepy bardziej odporne. Co więcej, ostatnio pojawiły się doniesienia o ponownej infekcji osób, które zostały już wyleczone z tej choroby.

### Promieniowanie X w terapii zapalenia płuc

W sytuacji braku efektywnych metod leczenia ignoruje się zapewne nadzwyczaj proste i tanie lekarstwo, wypróbowane z wielkim powodzeniem dużo wcześniej (już w latach 1940.) w leczeniu najprzeróżniejszych zapaleń, w tym zapaleń płuc. Chodzi o możliwość wykorzystania promieniowania jonizującego w odpowiednio niewielkich dawkach (w stosunku do typowych dawek radioterapeutycznych). W wypadku pacjentów z zapaleniem płuc, dawka promieniowania X ok. 0,3 Gy na płuca powodowała, że wyleczalność sięgała 83%, a śmiertelność zmniejszała się niemal pięciokrotnie.

Jednym z powodów niechęci do opisywanej terapii jest wymóg uzyskania obiektywnego potwierdzenia skuteczności nowych metod leczenia, czyli tzw. zasada EBM – *Evidence-Based Medicine* – pomimo znanych od dawna sukcesów wykorzystania niewielkich dawek promieniowania jonizującego. Współczesna medycyna jest oparta bowiem na „twardych dowodach”, potwierdzonych wieloetapowymi (i najczęściej wieloletnimi) badaniami klinicznymi z udziałem dużych liczb pacjentów. Dotyczy to zarówno oceny skuteczności opracowywanych szczepionek, jak i terapii niskimi dawkami w leczeniu pandemii COVID-19. Dlaczego w Polsce, choć szczegółowe protokoły projektów badań klinicznych dotyczących terapii COVID-19 niskimi dawkami udostępnione zostały odpowiednim polskim konsultantom krajowym przez jednego z konsultantów wojewódzkich, nie wdrożono dotąd żadnych badań klinicznych w tym kierunku?

Istnieje bardzo bogata literatura medyczna, którą świat lekarski jakby chciał kompletnie zignorować. Literatura ta mówi o pozytywnym wpływie niewielkich dawek promieniowania jonizującego na zdrowie. Większość świata medycznego traktuje ją jak obce ciało w nauce. Przekonanie o jedynie negatywnym działaniu promieniowania jonizującego jest tak głębokie, że ignoruje się fakty, a więc sprzeniewierza się podstawowym zasadom nauki. Etyczny aspekt takiego podejścia do promieniowania jonizującego był przedmiotem wielu rozważań, czego jednym z wcześniejszych przykładów jest praca Z. Jaworowskiego z 1999 r. [3]. We wrześniu zeszłego roku Dział Edukacji i Szkoleń Narodowego Centrum Badań Jądrowych zorganizował w Kielcach międzynarodowe sympozjum na temat skuteczności małych dawek w diagnostyce i terapii medycznej. Sympozjum odbywało się w ramach Zjazdu Polskiego Towarzystwa

Badań Radiacyjnych. Jest rzeczą charakterystyczną, że pomimo znaczącego udziału wysokiej klasy lekarzy w tym Zjeździe, na sąsiednią salę, w której odbywało się Sympozjum, nie zawiązał prawie nikt z nich. Jedną z wiodących prac prezentowanych podczas tego Sympozjum, autorstwa J.M. Cuttlera [4], jest dostępna w Internecie. Omawia i pokazuje ona wiele przykładów skuteczności małych dawek promieniowania jonizującego w leczeniu wielu schorzeń.

Kilka lat temu została opublikowana praca Calabresego i Dhavana [5], podsumowująca sukcesy zastosowania promieniowania jonizującego w leczeniu zapalenia płuc w latach 1940-tych. W pracy tej autor apeluje o opracowanie programu klinicznego opartego na napromienieniu promieniowaniem X najbardziej zagrożonych pacjentów. Niestety, ten, jak i inne liczne apele i publikacje, które pojawiły się w trakcie obecnej epidemii (pandemii), a które wskazywały na możliwość wykorzystania niskich dawek do leczenia chorych na COVID-19 pozostawały i pozostają ignorowane przez gremia odpowiedzialne za opracowywanie procedur terapeutycznych. W tym kontekście warto zwrócić uwagę na pracę [6], która ukazała się ostatnio w Dose-Response. Praca ta, autorstwa trójki wybitnych specjalistów J.M. Cuttlera, J.J. Bevelacqua i S.M.J. Mortazaviego, nosi dramatyczny w swej wymowie tytuł „Unethical not to Investigate Radiotherapy for COVID-19”. Cytuje ona raport z prób klinicznych przeprowadzonych w Winship Cancer Institute, Emory University Hospital (USA), które wskazały, że napromienienie płuc pięciu ciężko chorych pacjentów na COVID-19, w wieku 64-94 lat, korzystających z respiratorów, doprowadziło po użyciu promieniowania X do niemal natychmiastowej poprawy ich zdrowia. Trzech z tych pacjentów można było odłączyć od respiratorów już 24 godziny po napromienieniu, czwartego zaś po 96 godzinach [7]. Pozytywną wiadomością jest, że zatwierdzonych jest obecnie dalszych 10 podobnych badań klinicznych. Z powagą podeszli też do tej sprawy Niemcy [9]. Niedawno potwierdzono, że w modelach zwierzęcych z wywołanym celowo stanem zapalnym płuc, terapia niskimi dawkami skutecznie hamuje „burzę cytokinową”, oczekuje się więc podobnego działania terapii niskimi dawkami promieniowania jonizującego u pacjentów z ostrym zapaleniem płuc wywołanym wirusem SARS-CoV-2. Według ostatnich doniesień – w przeciwieństwie do środków farmakologicznych – terapia ta nie powoduje transformacji wirusa do odmian bardziej odpornych na jego leczenie. Na co więc czekamy?

Potencjalną skuteczność terapii niskimi dawkami potwierdzają badacze z Kanady, Francji i Hiszpanii. Próby podejmuje też jeden ze szpitali w Izraelu. Jednak, gdyby wszystkie wspomniane apele i propozycje leczenia były szeroko, równie poważnie potraktowane, być może udałoby się uniknąć na świecie ponad 794 000 zgonów [10]. Nic dziwnego, że powstrzymywanie się od prób (!) leczenia tym tanim rodzajem terapii można uznać za

nieetyczne, jak głosi tytuł cytowanej pracy Cuttlera, Bevelacqua i Mortazaviego.

### Jest nadzieja, więc...?

Aby zrozumieć, dlaczego promieniowanie jonizujące w niewielkich dawkach (0,3-1,0 Gy) może być skuteczne, zacznijmy od stwierdzenia, że nie oferuje ono walki z wirusem jako takim, a jedynie ze stanem zapalnym. Charakterystyczną cechą COVID-19 jest pojawianie się w płucach płynu, który nie przepuszcza tlenu (poprzez pęcherzyki płucne) do układu krwionośnego. Dzieje się tak za przyczyną tzw. burzy cytokinowej wywołanej bardzo ostrą reakcją zapalną układu immunologicznego. W jej wyniku uwalnia się duża ilość cytokin działających prozapalnie. To one są głównym czynnikiem powodującym niemożność oddychania, kończącą się zgonem pacjenta. Podczas takiej „burzy”, jak mówi prof. Arnab Chakravarty, kierownik kliniki onkologicznej w Ohio State University, ciało – zamiast zwalczać wirusa – zaczyna atakować własne komórki i tkanki [7]. Promieniowanie jest skuteczne w przeciwdziałaniu tej „burzy” i gromadzeniu się płynu w płucach. Niskie dawki promieniowania stymulują system immunologiczny, co w konsekwencji uruchamia mechanizmy naprawy rozlicznych uszkodzeń komórek. W naszym wypadku promieniowanie wzmacnia odpowiedź organizmu na zapalenie wywołane wirusem i działa przeciwko „burzy cytokinowej”. Znakomity uczony, dr E. Calabrese stwierdza [8], że dobroczynna akcja promieniowania jonizującego związana jest m.in. z polaryzacją makrofagów w kierunku fenotypu M2, mającego działanie antyzapalne.

Napromienianie wskazanymi wyżej dawkami jest proste, tanie i dostępne niemal w dowolnym szpitalu dysponującym pracownią rentgenowską, czy tomografią komputerową. Samo napromienienie, aby było maksymalnie skuteczne, należy jednak wykonać w odpowiednim czasie, we wstępnej fazie zapalenia, natomiast zdaniem cytowanej już pracy E. Rödl i in. [9] wielkość dawki z przedziału 0,1-1 Gy jest mniej istotna, choć, historycznie biorąc, najefektywniejszymi okazały się dawki z przedziału 0,3-0,7 Gy.

Na uzyskanie mocnych dowodów opartych na wieloletnich, systematycznych badaniach klinicznych na dużej grupie pacjentów, trzeba będzie zapewne dłużej poczekać, ale przecież stoimy przed zupełnie nowym zjawiskiem: ludzie umierają w męczarniach i trzeba jak najszybciej im ulżyć i przywrócić do zdrowia wypróbując wszystkie pomysły, które nie są z góry skazane na niepowodzenie.

Być może, jak sugeruje praca H. Abdollahi i in. [11], połączenie terapii wykorzystującej osocze krwi ozdrowieńców z terapią niskimi dawkami zadziałałoby synergicznie i wzmocniłoby spodziewane dobre wyniki leczenia przy wykorzystaniu osocza?

W świetle przytoczonych tu faktów Jim Conca [2] konkluduje: „Byłoby nieetyczną rzeczą niepodejmowanie takich prób, gdy z powodu pandemii tysiące umierają każdego dnia, a do pojawienia się szczepionki jest jeszcze daleka droga”.

### Podziękowanie

Chciałbym podziękować prof. dr hab. Michaelowi Waligórskiemu za liczne dyskusje, życzliwe przejrzenie i skomentowanie manuskryptu oraz pozwolenie na włączenie niektórych swych spostrzeżeń do tej publikacji.

*prof. dr hab. Ludwik Dobrzyński,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,  
Otwock*

### Literatura:

- [1] Is Our Fight Against Coronavirus Worse Than the Disease? There may be more targeted ways to beat the pandemic., New York Times 20.03.2020, <https://www.nytimes.com/2020/03/20/opinion/coronavirus-pandemic-social-distancing.html>
- [2] Jim Conca, Could low doses of radiation raise COVID-19 survival rates?, Nuclear News, June 2020, 65-66
- [3] Z. Jaworowski, "Radiation Risk and Ethics", Physics Today 59(9): 24-29.
- [4] J.M.Cuttler, Application of Low Doses of Ionizing Radiation in Medical Therapies, Dose-Response 18(1), 1-17, (2020); <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6945458>
- [5] Calabrese EJ, Dhawan G., How radiotherapy was historically used to treat pneumonia: could it be useful today? Yale J Biol Med. 2013;86(4): 555-570. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3848110/>
- [6] J.M.Cuttler, J.J.Bevelacqua i S.M.J. Mortazavi, Unethical not to Investigate Radiotherapy for COVID-19, <https://doi.org/10.1177/1559325820950104>
- [7] Kathleen Doheny, Low-Dose Radiation Therapy May Help COVID-19 Patients, WebMD Health News (18.06.2020).
- [8] Calabrese E.J., G. Dhawan, R. Kapoor, W.J. Kozumbo, Radiotherapy treatment of human inflammatory diseases and conditions: optimal dose. Hum Exp Toxicol 38:888–898 (2019). <https://doi.org/10.1177/0960327119846925>
- [9] F.Rödel i in.; Strahlentherapie und Oncologie 196, 679–682(2020), <https://link.springer.com/article/10.1007/s00066-020-01635-7>
- [10] dane z John Hopkins Institute: <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>, 21.08.2020.
- [11] H.Abdollahi i in., "Low Dose Radiation Therapy and Convalescent Plasma: How a Hybrid Method May Maximize Benefits for COVID-19 Patients", J.Biomed. Phys. Eng. (2020), [https://jbpe.sums.ac.ir/article\\_46633.html](https://jbpe.sums.ac.ir/article_46633.html)

# KONTAKTY JANA PAWŁA II Z FIZYKAMI

## *John Paul the Second's contacts with physicists*

Małgorzata Nowina Konopka

**Streszczenie:** W setną rocznicę urodzin św. Jana Pawła II przypominamy początki jego działalności duszpasterskiej wśród krakowskich studentów i młodych fizyków. Wycieczki narciarskie i piesze w góry, spotkania w domach prywatnych, a przede wszystkim dyskusje filozoficzne stanowiły dla uczestników niezatarte przeżycie. Ich kontynuacja w formie seminariów zatytułowanych *Nauka – Religia – Dzieje* była czymś absolutnie niezwykłym nie tylko dla poszczególnych osób, ale na skalę wielkich problemów decydujących o specyfice ludzkiej kultury. Warto więc choćby w krótkich słowach przybliżyć tamte klimaty.

**Abstract:** On the hundredth anniversary of the birth of St. John Paul II, we recall the beginnings of his pastoral activity among Krakow students and young physicists. Skiing and hiking trips in the mountains, meetings in private homes, and above all philosophical discussions, were an unforgettable experience for the participants. Their continuation in the form of seminars entitled *Science – Religion – History* was something absolutely extraordinary not only for individuals, but on the scale of great problems deciding on the specificity of human culture. So let's just briefly explain those atmosphere.

**Słowa kluczowe:** duszpasterstwo akademickie, dialog fizyka – metafizyka, seminaria w Castel Gandolfo

**Keywords:** academic pastoral care, physics-metaphysics dialogue, seminars at Castel Gandolfo

Kiedy po powrocie z Rzymu ksiądz dr Karol Wojtyła rozpoczynał w Krakowie działalność kapłańską, w Polsce panowały najgorsze stalinowskie czasy. Ludzie z opozycji coraz to znikali bezpowrotnie eliminowani przez bezpiekę lub pod byle pretekstem byli aresztowani. Obowiązywał zakaz zgromadzeń, szalała propaganda komunistyczna, naukę religii całkowicie usunięto ze szkół. Zdelegalizowano katolickie stowarzyszenia młodzieży akademickiej.

Społeczność akademicka szczególnie intensywnie indoktrynowana przez czynniki partyjno-państwowe nie zgadza się na wymagany powszechnie światopogląd materialistyczny, na traktowanie obrzędów religijnych jako folklor rustykalny. Młodzi pracownicy nauki i studenci szukają pomocy w Kościele.

A księża są prześladowani. Ksiądz dr Tadeusz Kurowski, proboszcz parafii św. Floriana, a zarazem mianowany przez księcia kardynała Adama Sapiechę krakowski duszpasterz akademicki, po pokazowym procesie transmitowanym przez radio, siedzi w więzieniu. W 1951 r. umiera kardynał Adam Sapieha, przez co społeczność krakowska zostaje dotkliwie osierocona.

Pojawienie się młodego, kompetentnego ks. dr. Karola Wojtyły, jak deski ratunku, natychmiast wzbudza zainteresowanie krakowian. Jako wikary w parafii św. Floriana ks. Wojtyła jest niezwykle aktywny. Oprócz pracy w kancelarii opiekuje się Służbą Liturgiczną tj. ministrantami oraz ich rodzicami wykładając im zagadnienia z psychologii wychowawczej, oraz teologię Mszy św. Organizuje kursy dla narzeczonych. Nic więc dziwnego, że zgłaszają się do niego studenci krakowskich uczelni Politechniki i Akademii Sztuk Pięknych z prośbą o cykl konferencji na tematy filo-

zoficzno-teologiczne oraz dotyczące wszelkich nurtujących ich problemów. Ks. Karol wsłuchuje się w ich potrzeby: wystawia w kościele skrzynkę, do której pozwala wrzucać karteczki z sugerowanymi tematami rozważań. Jednym słowem przejmując rolę ks. Kurowskiego i otacza młodzież opieką duszpasterską: tworzy ośrodek duszpasterstwa akademickiego przy świątyni św. Floriana. Równocześnie duszpasterzuje parafianom od św. Katarzyny, gdzie też pracuje jako wikary. Prowadzi podziemną działalność w Katolickim Stowarzyszeniu Młodzieży Męskiej KSMM. Upatruje w elitach inteligenckich szanse na uratowanie narodu przed totalitaryzmem.

Fizyk Andrzej Hrynkiewicz, szukając wyjaśnienia swoich wątpliwości na temat prawd objawionych, trafiła na tajne wykłady prowadzone przez ks. dr. Karola Wojtyłę na KSMM. Jest styczeń 1953 r. Zajęcia odbywają się w sali obecnego budynku Filharmonii. Andrzej Hrynkiewicz wspomina: „Ksiądz Karol siedział pod oknem i przysłuchiwał się zainicjowanym przez siebie dyskusjom. Podziwialiśmy trafność i jasność jego wypowiedzi, a w szczególności trafiające w sedno podsumowania [...]. Któregoś dnia Jacek Henneł zaproponował zaproszenie go na wycieczkę narciarską w Gorce. Aby się upewnić o umiejętnościach narciarskich księdza Karola, urządziliśmy uprzednio dwudniową wycieczką w okolice Zakopanego. Pamiętam, jak w warsztacie Instytutu Fizyki przy Gołębiej 13 dopasowywaliśmy wiązania narciarskie do jego księzowskich trzewików. Wyjechaliśmy wieczorem, pociągiem, we trójkę: ksiądz Karol, Jacek Henneł i ja. Rano dojechaliśmy do Poronina, stamtąd wyprawa na nartach na Bukowinę; pamiętam – były świetne warunki śniegowe. Wieczorem pojechaliśmy do Zakopanego,

gdzie dołączył do nas Staszek Szymczyk. Ksiądz Karol przenocował w „Księżówce” i następnego dnia po mszy św. wyruszyliśmy na wycieczkę narciarską z Gubałówki przez Kościelisko do Hali Pisanej. Z Kir wróciliśmy autobusem wieczorem do Zakopanego, a stamtąd – zmęczeni i zadowoleni – kolejną do Krakowa”.<sup>1</sup> Egzamin z umiejętności narciarskich księdza Karola wypadł pomyślnie. W styczniu odbyła się więc druga wycieczka narciarska również w Gorce, ale w liczniejszym gronie, a we wrześniu piesza od Babiej Góry przez Gorce i Beskid Wyspowy do Tymbarku. Obie wyprawy organizował Jerzy Janik. Uczestniczyli w nich: żona Jerzego Janika – Janina, Karol Wojtyła, Joachim Gudel, Jacek Hennel i jego siostra Marysia, Teresa Heydel, Jacek Kociołek, Antonina Kowalska, Leszek Nowosielski, Anna Szymczyk i Elżbieta Jacuńska.

Ks. Karol świadomy zagrożeń, jakie wiązały się z zakazanym duszpasterstwem, zdejmując sutannę i chodził z młodzieżą w góry, stwarzając pozory uprawiania rodzinnej turystyki. Zakaz zgromadzeń nie dotyczy gór! Dla zmylenia milicji zaleca nazywanie go wujkiem, chociaż niektórzy podopieczni są niewiele od niego młodszy. Kamuflaż okazał się skuteczny już w 1951 r. podczas wycieczki w Gorce z kilkoma studentkami: nie wzbudzili żadnych podejrzeń i mogli spokojnie podziwiać cudownie kwitnące krokusy. Najwyraźniej Opatrzność czuwała nad nimi.

W pierwszej połowie sierpnia 1953 r. już liczniejszą grupą z Jerzym Ciesielskim wybrali się na wyprawę w Bieszczady, a pod koniec sierpnia na spływ kajakami Brdą. Szybko rosła liczba uczestników. Kształtowała się społeczność z Jerzym Ciesielskim z Politechniki, którą potem nazywano „Rodzinką” lub „Środowiskiem”. Byli



**Fot. 1.** Karol Wojtyła z Janiną i Jerzym Janikami na wycieczce Zwardoń 1954.r.  
**Photo 1.** Karol Wojtyła with Janina and Jerzy Janik on a trip to Zwardoń 1954.

w niej również fizycy: Krzysztof Rybicki, Piotr Malecki, Maria Mięśowicz, a także młodzi filozofowie, malarze, muzycy.

Natomiast Jerzy Janik wraz z żoną Jasią organizowali wycieczki narciarskie. Kiedy we wrześniu 1953 r. nieoczekiwanie spadł pierwszy śnieg, wybrali się z ks. Karolem na wyprawę beskidzką, która zaczynała się w Zawoi od Babiej Góry, a skończyła się gdzieś za Mogielnicą. Kolejne lata również obfitowały w różne wycieczki. Nie sposób wymienić wszystkie trasy. Przykładowo wspomnę wyprawę w Gorce, na Markowe Szczawiny, z Bielska przez Klimczok, Skrzyczne, Baranią Górę, Zwardoń na Wielką Raczę (1954), lub (w 1955 r.) zimą z bazy w Skałce nad Ochotnicą Górną, lub na nartach przez Pieniny i Prehybę do Rytra, w lecie tydzień na trasie Kudowa-Śnieżnik. W lutym 1956 r. odbyła się wyprawa z Kasinki przez Lubogoszcz do Mszany Dolnej, a jesienią rowerami wzdłuż Sudetów, ze Świeradowa do Legnicy.



**Fot. 2.** Zimowa wyprawa  
**Photo 2.** Winter trip

Kiedy w 1958 r. ks. Karol Wojtyła został biskupem, brak czasu ograniczył wspólne wycieczki, zwłaszcza wędrówki od schroniska do schroniska. Od następnego roku aż po lata siedemdziesiąte podczas zimowej



**Fot. 3.** Wycieczka w góry  
**Photo 3.** A trip to the mountains

<sup>1</sup> Postępy Fizyki 55, z.2, 52-66 (2004)

przerwy międzysemestralnej jeździli stale do nowego schroniska na Prehybie. Skład grupy był podobny do tego z pierwszych wypraw w 1953 r. Dołączyła jeszcze druga siostra Jacka Hennela – Terasa, Jerzy Ciesielski i jego późniejsza żona Danuta Plebańczyk, Jerzy Gierula, Tadeusz Waluga, Maria Kupisz.

Niewątpliwie jednak największe przeżycie dla uczestników stanowiły te pierwsze wycieczki w 1953 r. Dały one początek dyskusjom filozoficznym i ukształtowały tak zwane środowisko fizyków. Jerzy Janik wspomina: „Zawsze pamiętam styczniową wyprawę w Gorce w kiluosobowej grupie ... jako niekończącą się rozmowę nas obu – Karola Wojtyły (Wujka) ze mną. Nie wiem, przy którym trawersowaniu grzbietu Gorców usłyszałem od Wujka niezwykle jasny i logicznie zwarty wykład elementów metafizyki. Byłem krytyczny. A może zbyt zarozumiały z powodu sukcesów mojej nauki, o której sądziłem, że zajmuje miejsce dawnej filozofii i słusznie się jej to należy. I tak brnąc na nartach w kopnym śniegu, odparowywałem tezy wygłaszane przez Wujka, by w końcu ulec argumentom nie do pokonania”.<sup>2</sup>



**Fot. 4.** Gorce 1953 (NN, Jasia Janikowa, Jacek Hennel, Jerzy Janik, Karol Wojtyła, NN, NN)

**Photo 4.** Gorce 1953 (NN, Jasia Janikowa, Jacek Hennel, Jerzy Janik, Karol Wojtyła, NN, NN)



**Fot. 5.** Prehyba 1964 r.

**Photo 5.** Prehyba 1964 r.

<sup>2</sup> J. Janik, Migawki wspomnień, s. 42

Jan Paweł II w 1995 r. wspominał wyprawę wrześniową, która: „... była początkiem dialogu filozoficzno – fizykalnego między filozofami a fizykami. Bo okazało się, że Jurek chce mnie wysondować na temat filozofii: od św. Tomasza i Arystotelesa, a ja się specjalnie nie broniłem. Potem stało się to nawykiem, to dyskusowanie problemów między metafizyką a fizyką... Zaczęliśmy to wtedy wałkować. To wałkowanie trwało długo, toczyło się przez różne wyprawy, piesze przeważnie. Nie potrafiłbym ich wszystkich wymienić; także narciarskie”.<sup>3</sup>

„Był w tych wyprawach jakiś czar życia życiem gminy chrześcijańskiej, z jej charakterystycznymi elementami: poczuciem wspólnoty, życzliwością, przyjaźnią.

Pewnego wieczoru znaleźliśmy się wraz z Wujkiem (jeszcze wtedy nie biskupem) u podnóża Gorców, we wsi Klikuszowa. Było późne lato. Wszystkim spodobała się idea nocnego podejścia na Turbacz. Była piękna pogoda, noc księżycowa. Podejście (z dyskusją, oczywiście) trwało kilka godzin. Wyszliśmy na halę przy tzw. Czole Turbacza. Stał tam wielki szałas pełen siana. Zanim jednak poszliśmy spać, rozpaliliśmy ognisko, coś zjedliśmy. I śpiewaliśmy. Wujek lubił ponuro-wesołą piosenkę o Trzech Krasnalach nie-góralach:

*Żyli byli trzech krasnale nie górale  
Nie bili się, nie kłócili nigdy wcale  
Trzech ich było, trzech z fasonem  
Dwóch wesółych, jeden smutny, bo miał żonę*

*A ta żona była gruba no i basta  
Miała sobie taki wałek jak do ciasta  
I tym wałkiem, kiedy chciała  
Swego męża krasnoludka wałkowała...*

Rano, na wycieczkach z Wujkiem, odpowiadaliśmy mszę św. Tam, na Turbaczu, Wujek powiedział: „Wiecie co, w Kościele próbują wprowadzić elementy nowej liturgii (był rok 1953). Jednym z elementów jest pozycja odpowiadającego kapłana. Ma on, mianowicie stać twarzą do wiernych. Zrobmy tak.” W drzwiach szałasu umocowaliśmy deskę. Wujek stanął wewnątrz szałasu. „*In nomine Patris...*” – zaczął, oczywiście po łacinie. Na zmianę języka trzeba było poczekać jeszcze parę lat.

I tak na szczycie Gorców trwała Najświętsza Ofiara na chwałę Stwórcy otaczającej nas przyrody”.<sup>4</sup>

Warunki turystyczne nie sprzyjały w pełni „wałkowaniu” poważnych i głębokich zagadnień nurtujących fizyków. Spotykali się więc w prywatnych mieszkaniach państwa Janików najpierw przy pl. Dominikań-

<sup>3</sup> Nauka – Religia – Dzieje, VIII seminarium w Castel Gandolfo... Kraków (1996), s.215.

<sup>4</sup> J. Janik, Migawki wspomnień, s. 49. Nota bene 60 lat później, czyli już po śmierci papieża a także prof. Janika odprowadzono w tym samym miejscu rocznicową mszę, którą uświetnił występ chóru Organum pod dyktando Bogusława Grzybka.



skim 1, potem przy ul. św. Marka 8, a także u kardynała Wojtyły na Franciszkańskiej 3. Wiadomo było, że telefony zarówno kurii, jak i państwa Janików były na podsluchu. Żeby ubecy nie mieli wątpliwości co do celu spotkań, prof. Janik za każdym razem dzwonił do kardynała, uzgadniając termin i temat dyskusji. Na szczęście dywagacje filozoficzne fizyków nie wzbudzały zainteresowania komunistycznych służb bezpieczeństwa, bo nigdy żadnej interwencji nie było.

Spotkania krakowskie odbywały się kilka razy do roku. Zwykle na porządku dziennym był referat, a potem dyskusja, w której Karol Wojtyła *pars magna fuit*.

Jednym z ważniejszych tematów dyskusji był problem „sfer” istnienia (*esse*) należący do ontologii lub metafizyki. Łączy się on z odwiecznym pytaniem o „tamten świat” – czy istnieje, jaki jest, o jego *esse i essentia*. Jedynie „sfera” Boga nadaje się do rozważań ontologicznych i być może fizycznych. „W każdym JEST występuje *sui generis* złożenie z istnienia i istoty: *esse i essentia* – »złożenie« z tego ŻE coś jest i CZYM coś JEST. Św. Tomasz upatruje indywidualnego *esse* w partycypacji w uniwersalnym *Esse*, którym jest Bóg. Martin Heidegger wprowadza, jak się wydaje, identyczne do uniwersalnego *Esse – das Sien*, odcinając się od Tomaszowego, przyczynowego obrazu rzeczywistości i *eo ipso* nie łącząc go z uniwersalnym źródłem – Bogiem”.<sup>5</sup> Obaj filozofowie mówią o egzystencji *Esse* w czasie.

Fizyka dotknęła problemów ontologicznych dopiero z chwilą powstania mechaniki kwantowej z jej trudnym balastem interpretacyjnym. Prof. Janik uważał, że należy wpisać jej nadbudowę do wielowiekowych osiągnięć filozofów.

Spotkania dyskusyjne w domu państwa Janików trwały zwykle kilka godzin. Dobór uczestników nie był przypadkowy. Oczywiście wszystkich wybierał i zapraszał organizator spotkań. Brali w nich udział fizycy z Krakowa: profesorowie: Marian Mięśowicz, Jerzy Gierula i jego siostra doc. Danuta Gierulanka, Zygmunt Chyliński, Andrzej Fuliński, Zbigniew Grabowski z Warszawy, Jan Stankowski z Poznania i inni.

Niekiedy tematykę spotkań urozmaicali intelektualiści reprezentujący humanistyczne dziedziny np. historycy, którzy wprowadzali do dyskusji zagadnienia ważne w społecznie szerszej skali jak: zagrożenia środowiska naturalnego, raport Klubu Rzymskiego czy list biskupów polskich do niemieckich. Dyskusję podsumowywał kardynał niezwykle trafnymi uwagami.

Wszyscy goście byli zapraszani z żonami, co wyrażało ogromny szacunek dla instytucji rodziny, szczególnie kultywowany przez kardynała.

Zwieńczenie wieczoru stanowiło wspólne śpiewanie. Naturalnie w okresie Bożego Narodzenia w repertuarze były głównie kolędy, w innym czasie piosenki

ulubione przez kardynała, rajdowe, czy lwowskie sugerowane przez prof. Janika.

Radosne wydarzenie, jakim był w 1978 r. wybór kardynała Wojtyły na Stolicę Piotrową, zakończył szereg jego krakowskich aktywności. W liście gratulacyjnym do Papieża prof. Janik wyraził żal, że wspólne górskie wyprawy oraz seminaria z fizykami przeszły do historii. Papież odpowiedział zaskakująco szybko, bo już miesiąc po wyborze. Przyznał, że istotnie górskie wyprawy to niestety już przeszłość, ale seminaria mogą być kontynuowane, tylko w nowych warunkach organizacyjnych, a mianowicie w letniej rezydencji papieskiej w Castel Gandolfo np. co dwa lata w formie seminariów trwających około trzech dni. Na tę propozycję prof. Janik zareagował działaniem, którego rezultat relacjonował Papieżowi w liście z 15 października 1979 r.:

„Przeprowadziłem wymianę opinii na ten temat z kilkoma osobami, a mianowicie z prof. Z. Chylińskim, prof. A. Staruszkiewiczem (fizycy teoretycy, specjaliści od teorii względności), ks. prof. M. Hellerem (filozof, a przy tym doskonały fizyk) oraz z ks. prof. J. Tischnerem. Wydaje nam się, że bylibyśmy w stanie zorganizować seminarium, w którym uczestniczyłoby około 20-25 osób, fizyków i filozofów...”<sup>6</sup>

Zaproponował nazwę pierwszego spotkania *Nauka – Religia – Dzieje* oraz jego termin: sierpień 1980 r. Udało się w pełni je zrealizować. W czasie trwania seminarium zaszły pamiętne wydarzenia w Stoczni Gdańskiej, które uczestnicy wraz z Papieżem mogli obserwować w telewizji włoskiej. Papież interesował się szczególnie informacjami o represjach na uniwersytetach i wyższych uczelniach. Zaproponował rozważanie problemu, czy wolność ma tylko dobre strony.

Na pierwszym seminarium wygłoszono 9 referatów, jeden pod nieobecność autora (prof. Zygmunt Chyliński jako zaangażowany działacz solidarnościowy nie mógł przyjechać, bo nie dostał paszportu, podobny los spotkał prof. Z. Grabowskiego w 1982 i 1984 r.).

Nieoficjalne, serdeczne dyskusje oraz przyjacielska atmosfera sprawiły, że Jan Paweł II zachęcał do organizowania kolejnych spotkań. Zwracając się do kardynała Stanisława Dziwisza, powiedział: „Te seminaria są dla mnie luksusem, ale ten luksus uważam za konieczny”.

Zaproszenia nie trzeba było powtarzać rozentuzjuszowanym uczestnikom i niestrudzonemu organizatorowi. Z radością podjął to zadanie. Seminaria odbywały się więc co dwa lata zwykle w sierpniu, aż do 1992 r., kiedy z powodu choroby Jana Pawła II i zabiegu operacyjnego termin seminariów przesunięto na lata nieparzyste. Ostatnie seminarium z Papieżem odbyło się w 2003 r.

<sup>5</sup> J. Janik, Migawki wspomnień, s. 45.

<sup>6</sup> J. Janik, Migawki wspomnień s. 77, Korespondencja z Papieżem Janem Pawłem II.



Castel Gandolfo: referat prof. Antoniny Kowalskiej



W sali obrad w Castel Gandolfo



Referat prof. Marii Massalskiej Arodź



Po obradach



Referat ks. M. Hellera



Dyskusje kulturalowe



Trochę humoru



Przed posiłkiem



#### Ponownie obrady

**Fot. 6.** Papież wśród uczestników seminarium, które były kontynuowane w letniej rezydencji papieskiej w Castel Gandolfo

**Photo 6.** Pope among the participants of the seminar continued in the papal summer residence in Castel Gandolfo

Wszystkie fotografie pochodzą od córek prof. Janika Barbary Poliks i Joanny Chrostek – z rodzinnego archiwum profesora.

W okresie letnim w latach pomiędzy spotkaniami prof. Janik przyjeżdżał do Watykanu z listą prelegentów i innych uczestników, formułował ogólny program spotkania i przedstawiał Papieżowi do akceptacji. Starannie dobierał zapraszanych gości, zawsze według własnego uznania. Kierował się reprezentowanym przez nich kierunkiem i poziomem badań naukowych, a także ich światopoglądem. Nie znaczyło to, że wszyscy byli gorliwymi katolikami. Ważnym kryterium było poszanowanie prawa papieża do swobodnych wypowiedzi.<sup>7</sup> Referenci mówili, o czym chcieli, ale na niektórych sugerowany był pewien wspólny temat.



#### Prowadzenie dyskusji

Obrady odbywały się po polsku z małymi wyjątkami: trzykrotnie zaproszony polski astronom z USA prof. Andrzej Pacholczyk mówił po angielsku, a ojciec Aleksandr Semenov z prawosławnej cerkwi w Radminie koło Dubnej – po rosyjsku.

Stopniowo ustalał się porządek spotkań. Uczestnicy przyjeżdżali w poniedziałek. We wtorek, środę i czwartek, zwykle popołudniu odbywały się obrady; trzy referaty każdego dnia. Rano papieska Msza św. w prywatnej kaplicy, której wystrój – pochodzący z czasów Piusa XI – stanowiły: obraz Matki Boskiej Częstochowskiej oraz dwa malowidła ścienne przedsta-



**Fot. 7.** Castel Gandolfo. Referat ks. prof. M. Hellera

**Photo 7.** Castel Gandolfo. The paper of Fr. prof. M. Heller (fot. udostępnione od córek prof. Janika Barbary Poliks i Joanny Chrostek)

<sup>7</sup> Jak wiadomo papież jest nieomylny, tylko kiedy wypowiada się w sprawach doktrynalnych, jako zwierzchnik Kościoła, a niekiedy w swobodnej rozmowie.

wiające sceny z naszej historii. Każdego dnia był jeden wspólny z Papieżem posiłek główny: obiad lub wieczorem kolacja. Prof. Janik wyznaczał osobę siedzącą bezpośrednio obok Papieża, co pozwalało nawiązać z nim osobistą rozmowę. Tak bliski kontakt z Papieżem był również możliwy podczas przerw kawowych.

Koszty podróży uczestnicy pokrywali sami, a ich pobyt był finansowany przez Watykan. Początkowo korzystali z pensjonatu „Casa nostra” prowadzonego przez zakonnice hiszpańskie, później z ośrodka hotelowego, powstałego za pontyfikatu papieża Pawła VI. „Mieszkamy w cudownym domu należącym do ruchu Focolarini. Mieszkankami domu są młode dziewczęta. Większość z nich ma śluby wieczyste, są kimś w rodzaju zakonnicy, ale nie noszą strojów zakonnych. Są wesołe, pełne humoru, dobroci i chęci służenia. Nazywamy je „Fokolarinkami”. Zwykle w czasie naszego u nich pobytu, w któryś wieczór gromadzimy się razem, rozmawiamy, śpiewamy. Są dla nas przykładem chrześcijańskiego stylu życia, pełnego radości i służby drugim”.<sup>8</sup>

Na seminariach poruszano sprawy fundamentalne. I tak:

I. spotkanie *Nauka – Religia – Dzieje* (1980) dotyczyło korelacji między naukami ścisłymi a kulturą oraz nauką a religią.

II. spotkanie (w 1982 i wszystkie kolejne) nazwano już seminarium interdyscyplinarnym. Było ono poświęcone rozważaniom o kosmologii, budowie materii, stosunku fizyki do metafizyki.

III. – (1984) o transcendencji w przyrodzie, w ewolucji, o pojęciu czasu, wiarygodności twierdzeń przyrodniczych z zagrożeniami życia na ziemi.

IV. – (1986) o wielkiej unifikacji w opisie wszechświata oraz trwającym 300 lat współistnieniu Kościoła i nowożytnej nauki.

V. i VI. – (1988 i 1990) o redukcjonizmie i holizmie jako metodach współczesnej nauki, a także o tradycji i postępie w nauce i filozofii.

Na VII. seminarium – (1993) powrócił problem istnienia, i pojawiły się nowe zagadnienia systemowości świata, jedności prawdy, wielości systemów filozofii Boga oraz ewolucji definicji śmierci.

VIII. (1995) było pierwszym mającym wiodący tytuł: Co to znaczy realnie być?

IX. (1997) – zatytułowano: Czy świadomy obserwator analizuje istnienie?

Podczas X. (1999) dyskutowany był kryzys w filozofii i fizyce oraz relacje nauki i transcendencji.

XI. seminarium (2001) zdominował pomysł roli modelu w nauce, a w szczególności próba zbudowania modelu Boga w języku logiki matematycznej.

XII. (2003) seminarium miało tytuł wiodący: Czas, wieczność, nieskończoność.

<sup>8</sup> J. Janik Migawki wspomnień, s. 51.

Dla papieża kontakty z fizykami były ważne i stymulujące, co niejednokrotnie wyrażał w swoich wypowiedziach. „Nauczyłem się także doceniać znaczenie innych gałęzi wiedzy, w tym również dyscyplin doświadczalnych, a stało się to zwłaszcza dzięki spotkaniom i dyskusjom z przyrodnikami, fizykami i biologami, a skądinąd również historykami. Tym wszystkim dyscyplinom zadana jest prawda pod różnymi postaciami. Trzeba więc, ażeby blask prawdy – *veritas splendor* – towarzyszył im nieustannie, pozwalając ludziom spotykać się ze sobą i wymieniać myśli, wzajemnie się wzbogacając. Przyniosłem ze sobą z Krakowa do Rzymu tradycję takich spotkań interdyscyplinarnych, które odbywają się regularnie w okresie letnim w Castel Gandolfo. Tej dobrej tradycji staram się więc dochować wierności”.<sup>9</sup>

Podczas seminariów *Nauka – Religia – Dzieje* wysłuchano 46 autorskich referatów. Liczba uczestników – uczonych z rodzinami – wyniosła 117 osób. Dla każdego udział w tych wydarzeniach stanowił niezapomniane przeżycie, jako jedyne w swoim rodzaju spotkanie intelektualne i towarzyskie.

Kiedy w sierpniu 2004 r. prof. Janik przyjechał do Castel Gandolfo, żeby omówić listę gości i program kolejnego spotkania w 2005 r., Papież już był bardzo słaby, z trudem mówił, ale wysłuchał Janika i skinął głową na znak zgody. Profesor chcąc się upewnić spytał:

– A więc mamy aprobatę Ojca Świętego i kardynała Dziwisza?

– Tak – odpowiedział Papież – ... jak Bóg pozwoli. Kardynał Dziwisz natychmiast zdyskontował: „Ja jestem przeciwny, bo Papież musi być oszczędzany... Ale tu rządzi Papież”.

Jak wiemy Bóg nie pozwolił.

*Post Scriptum:*

*Seminaria pod nazwą Nauka – Religia – Dzieje były kontynuowane w Polsce. Trzykrotnie zaprosił na nie do Lublina arcybiskup Józef Życiński, jeden z najaktywniejszych uczestników seminariów w Castel Gandolfo, a po jego przedwczesnej śmierci, czwarte czyli ostatnie symposium odbyło się w Polskiej Akademii Umiejętności w Krakowie. Cykl ostatecznie przerwała nagła śmierć prof. Janika.*

*dr Małgorzata Nowina Konopka,  
(Instytut Fizyki Jądrowej PAN)<sup>10</sup>  
Polskie Towarzystwo Fizyczne,  
Kraków*

<sup>9</sup> Jan Paweł II, Dar i tajemnica. W pięćdziesiątą rocznicę moich święceń kapłańskich, Kraków 1996, s. 91.

<sup>10</sup> *Opracowanie na podstawie materiałów dostarczonych przez prof. Jerzego Janika oraz książki „Profesor Jerzy A. Janik 1927-2012 Uczony – Myśliciel – Mistrz, pod redakcją A. Fulińskiego i K. Maślanki, PAU 2015, s. 55-76: referat A. Tomczaka, J. Małeckiego wygłoszony podczas sesji PAU poświęconej pamięci Profesora.*



## HISTORIA KONFERENCJI NUTECH

W tym roku po raz piąty organizowana jest międzynarodowa konferencja Nutech „RECENT DEVELOPMENT AND APPLICATIONS OF NUCLEAR TECHNOLOGIES”. Kontynuuje ona krajowe sympozja „Technika jądrowa w przemyśle, medycynie, rolnictwie i ochronie środowiska”. Pierwsze spotkanie zostało zorganizowane 60 lat temu w dniach 8-12 czerwca w Rogowie. Był to okres burzliwego rozwoju technik jądrowych na świecie. Intensywnie badano możliwości praktycznego wykorzystania energii nuklearnej w energetyce i poza nią. Technologie radiacyjne i radiochemiczne zastosowano w wielu dziedzinach, a przychody z tego tytułu były porównywalne z energetyką jądrową. Na cyklicznych spotkaniach prezentowano prace dotyczące badań o charakterze podstawowym i wdrażanych technologii oraz nowych rozwiązań aparaturowych. Przykładowo w programie sympozjum z roku 1995 znalazły się następujące sekcje tematyczne: Technologie radiacyjne w ochronie środowiska, Technologie radiacyjne w inżynierii materiałów, Radiacyjne utrwalanie żywności, Technologie radiacyjne dla potrzeb medycyny, Radioznaczniki w badaniach przemysłowych, Radioznaczniki w gospodarce wodno-ściekowej i badaniach szczelności, Znaczniki w hydrologii, Radioznaczniki w badaniach materiałowych, Aparatura dla ochrony środowiska, Radioizotopowa aparatura przemysłowa, Aparatura diagnostyczna i pomiarowa, Zastosowania technik jądrowych w badaniach materiałów, Zastosowania technik jądrowych w geologii i hydrologii, Metody radioznacznikowe, Detektory promieniowania, Pomiar promieniowania, Przetwarzanie danych z eksperymentu radioznacznikowego, Akceleratory, Produkcja Izotopów, Literaturowe bazy danych (INIS). W okresie gospodarki rynkowej w atmosferze rygorystycznej społecznej kontroli technik jądrowych rozwinęły się te pomysły, które wyraźnie zaznaczyły swoją techniczną wyższość i ekonomiczną opłacalność. Przykładami są unikatowe technologie: sterylizacji wyrobów medycznych, konserwacji ziół, przypraw ziołowych, grzybów i żywności, radiacyjnego sieciowania polimerów, identyfikacji i konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym. W kolejnych latach wzrastała liczba badań środowiskowych oraz medycznych. Polscy uczeni, kontynuując dzieło Marii Skłodowskiej-Curie wnosili istotny wkład do światowych dokonań w chemii radiacyjnej, radiochemii i technologiach radiacyjnych. Niestabnące zainteresowanie środowisk naukowych tymi dziedzinami wiedzy oraz zapotrzebowanie gospodarki na praktyczne rezultaty prowadzonych badań stworzyło popyt na międzynarodowe forum wymiany wiedzy i doświadczeń.

Pierwsza konferencja NUTECH-2008 odbyła się w dniach 15-17 września 2008 r. w Białowieży. Inicjatywę podniesienia rangi krajowego sympozjum do spo-

tkań międzynarodowych zgłosił prof. dr hab. Andrzej G. Chmielewski, dyrektor Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Ideę takiego spotkania podjęły Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej (AGH) w Krakowie, Polska Grupa Energetyczna S.A. (PGE S.A.), Polskie Towarzystwo Nukleoniczne (PTN), Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA), Państwowa Agencja Atomistyki (PAA), Rada ds. Atomistyki, Polska Platforma Technologii Nuklearnych (PPTN) oraz Polon Alfa. Mimo że, niemal w tym samym czasie odbywały się w Londynie i Rio de Janeiro dwie inne duże konferencje na temat technologii radiacyjnych i chemii radiacyjnej polimerów (IMRaP, IRaP) na sympozjum w Białowieży zgłosiło się ponad 150 uczestników (w tym 1/3 z zagranicy). Był to duży sukces organizacyjny konferencji, która zaczynała międzynarodową karierę, próbując znaleźć sobie miejsce wśród innych renomowanych spotkań naukowych poświęconych zastosowaniom technik jądrowych. Duży udział w przygotowaniach miała aktywnie działająca na rzecz powstania krajowej elektrowni atomowej Polska Grupa Energetyczna. Spośród licznych zastosowań technik jądrowych, w programie naukowym konferencji znalazły się: procesy radiacyjne, radiacyjne technologie w ochronie środowiska, technika nuklearna w służbie zdrowia i biologii, jądrowe techniki analityczne, ochrona radiologiczna, jądrowe systemy kontroli, tomografia przemysłowa, zastosowania metod radioznacznikowych, postępowanie z odpadami promieniotwórczymi, kontrola jakości w technikach jądrowych, radiacyjna modyfikacja polimerów i inne technologie radiacyjne. Specjalna sesja poświęcona była energetyce jądrowej: produkcji energii, bezpieczeństwu obiektów jądrowych, nowym technologiom, metodą przetwarzania i składowania odpadów. Konferencja według zgodnej opinii uczestników była udanym wydarzeniem naukowym, a znakomitej atmosferze, jaka panowała w czasie spotkania sprzyjało sąsiedztwo unikalnej puszczy Białowieckiej.

Kolejna konferencja została zorganizowana w Krakowie w dniach 11-14 września 2011 r. Celem konferencji było stworzenie środowiskom naukowym okazji do przedstawienia wyników prac badawczych oraz zaprezentowania aktualnych kierunków i trendów w dziedzinie stosowania technik nuklearnych. Na konferencji spotkało się ponad 160 naukowców z dwudziestu krajów, m.in. z: USA, Francji, Niemiec, Włoch, RPA, Japonii, Chin, Brazylii, Korei Południowej. Wygłoszono 13 referatów plenarnych i 42 sekcyjnych oraz zaprezentowano 118 komunikatów w formie plakatów. Konferencja nawiązała do setnej rocznicy przyznania Marii Skłodowskiej-Curie nagrody Nobla w dziedzinie chemii. Niewątpliwą atrakcją była wystawa poświęcona polskiej noblistce, przygotowana przez Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie i Archiwum PAN. Uczestnicy zapamiętali



Fot. 1. Archiwalne zdjęcia z pierwszej konferencji NUTECH w Białowieży

zapewne spotkanie integracyjne w restauracji Szara na Starym Kazimierzu.

W roku 2014 w dniach 21-24 września br. konferencja gościła ponownie w Warszawie. Honorowe patronaty nad konferencją objęli: Minister Nauki i Szkolnictwa Wyższego, prof. Lena Kolarska-Bobińska, Minister Gospodarki, Janusz Piechociński, Prezes Państwowej Agencji Atomistyki, Janusz Włodarski, Hanna Trojanowska (PGE), Herve Bernard (CEA), Dominique Miniere (SFEN) oraz Prezydent Miasta Stołecznego Warszawy, prof. Hanna Gronkiewicz-Waltz. W szerokim gronie specjalistów z różnych dziedzin atomistyki prezentowano

tematy z zakresu wykorzystania energii jądrowej m.in. w kontekście polskich planów w dziedzinie energetyki. Spotkanie to pozwoliło na tle światowych osiągnięć ocenić możliwości krajowego przemysłu w różnych dziedzinach zastosowań technik nuklearnych. W konferencji wzięło udział 130 uczestników, w tym goście z Niemiec, Austrii, Włoch, Belgii, Francji, Litwy, Szwecji, Portugalii, Hiszpanii, Turcji, Brazylii, Bangladeszu, Japonii, Chin i Korei Południowej. W trakcie konferencji wygłoszonych zostało 48 prezentacji ustnych, a podczas sesji plakatowej zaprezentowano 66 posterów. Trzeci dzień konferencji wypełniła sesja zorganizowana

wspólnie z Politechniką Warszawską w ramach International Nuclear Energy Kongres. Była ona w całości poświęcona przyszłości energetyki jądrowej w Polsce: zagadnieniom bezpieczeństwa, aspektom inżynierskim obiektów jądrowych, programom badawczym i kształceniu kadr.

Czwarty z kolei NUTECH-2017 odbył się w dniach 10-13 września w Krakowie. Udział w konferencji zgłosiły 102 osoby z 28 krajów świata. Większość jednak, bo 70 naukowców reprezentowało polskie instytucje. Część zaprezentowanych prac po recenzji została opublikowana w wydawnictwie Nukleonika. Konferencja nawiązała do 150 rocznicy urodzin Marii Skłodowskiej-Curie. Wieczorne spotkanie uczestników zorganizowano w salach Klasztoru Franciszkanów w Krakowie przy Bazylice pw. Św. Franciszka z Asyżu. Po zakończeniu konferencji część osób wzięło udział w dwudniowym sympozjum ARIES WP3 (Accelerator Research and Innovation for European Science and Society), poświęconym naukowym i społecznym problemom przemysłowych zastosowań akceleratorów cząstek. Pierwszego dnia przybliżono założenia projektu i zreferowano problemy, jakie uczestnicy zamierzają rozwiązać. Wykłady wygłosili: dr Zbigniew Zimek (Polska), prof. Andrzej G. Chmielewski (Polska), Frank-Holm Roegner (Niemcy) oraz Philippe Dethier (Belgia). Głównie mówiono o postępie w dziedzinie konstrukcji akceleratorów elektronów i najnowocześniejszych przemysłowych zastosowaniach technik radiacyjnych. Szczególną uwagę zwracał projekt kompaktowego akceleratora typu Rodotron. Drugiego dnia przedstawiciele partnerskich instytucji zreferowali wyniki wykonanych działań. Komunikaty wygłosili: dr Aleksandr Bryazgin (Rosja), dr Angeles Faus-Golfe (Hiszpania), prof. Rob Edgecock (Wielka Brytania) i Pedro Calvo (Hiszpania). Przedstawiono między innymi: stan prac nad akceleratorami typu ILU, nowymi przemysłowymi zastosowaniami wiązek elektronów, wykorzystaniem akceleratorów w produkcji radioizotopów oraz nowym kompaktowym cyklotronem. W tym bardzo kompetentnym towarzystwie prowadzono owocne dyskusje, z których korzystali zarówno prelegenci, jak i przedstawiciele firm zainteresowanych technikami radiacyjnymi.

*W archiwach bibliotecznych zachowało się niewiele materiałów konferencyjnych z lat 1960-2005. Udało mi się znaleźć jedynie streszczenia referatów z roku 1995, referaty wydane w formie Raportu IChTJ, Seria A nr 1/2002 oraz obszerną monografię wydaną w Krakowie w roku 2005. Bardzo dobrze udokumentowane są natomiast konferencje międzynarodowe.*

Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



## KONSULTACJE PUBLICZNE ZAKTUALIZOWANEGO „PROGRAMU POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ”

**6 sierpnia 2020 r. Ministerstwo Klimatu skierowało do konsultacji publicznych projekt uchwały Rady Ministrów w sprawie aktualizacji wieloletniego „Programu polskiej energetyki jądrowej”. Uwagi do dokumentu można było zgłaszać do 21 sierpnia br.**

Celem „Programu polskiej energetyki jądrowej” (PPEJ) jest budowa w Polsce od 6 do 9 GWe zainstalowanej mocy jądrowej w oparciu o sprawdzone, wielkoskalowe, wodne ciśnieniowe reaktory jądrowe generacji III i III+. Od przyjęcia pierwszej wersji PPEJ w 2014 r. uzasadnienie do wdrożenia energetyki jądrowej się nie zmieniło. Opiera się ono na trzech filarach: bezpieczeństwo energetyczne, klimat i środowisko, ekonomia.

We wprowadzeniu do znowelizowanej wersji PPEJ napisano, między innymi:

„W zakresie bezpieczeństwa energetycznego wprowadzenie elektrowni jądrowych do mixu energetycznego oznaczać będzie jego wzmocnienie głównie poprzez dywersyfikację bazy paliwowej w polskiej elektroenergetyce, dywersyfikację kierunków dostaw nośników energii pierwotnej, zastąpienie starzejącego się parku wysokoemisyjnych bloków węglowych pracujących w podstawie obciążenia systemu dyspozycyjnymi i skalowalnymi jednostkami bezemisyjnymi odpornymi na politykę regulacyjną w zakresie zaostrzania wymogów klimatycznych.

W kontekście środowiskowym energetyka jądrowa to radykalne, skokowe obniżenie emisji gazów do atmosfery z sektora elektroenergetycznego oraz niskie środowiskowe koszty zewnętrzne. Przykłady dużych, uprzemysłowionych i wysokorozwiniętych państw i regionów takich jak Francja, Szwecja oraz kanadyjska prowincja Ontario dowodzą, że energetyka jądrowa przyczynia się do skutecznej, szybkiej i głębokiej dekarbonizacji elektroenergetyki. We wszystkich tych przypadkach radykalnie zredukowano emisje do poziomu znacznie poniżej 100 kg CO<sub>2</sub>/MWh opierając się wyłącznie na energetyce jądrowej (Francja) lub na kombinacji energetyki jądrowej i dużej energetyki wodnej (Szwecja, Ontario).

W kontekście gospodarczym elektrownie jądrowe mogą zahamować wzrost kosztów energii dla odbiorców, a nawet je obniżyć, licząc pełny rachunek dla odbiorcy końcowego. Wynika to z faktu, że są one najtańszymi źródłami energii przy uwzględnieniu pełnego

rachunku kosztów (inwestorskie, systemowe, sieciowe, środowiskowe, zdrowotne, inne zewnętrzne).

Zakładany model inwestycji obejmuje realizację projektu z wykorzystaniem jednej technologii – co pozwoli m.in. na uzyskanie efektu skali, jednego współinwestora strategicznego powiązanego z dostawcą technologii oraz zachowanie kontroli Skarbu Państwa nad realizacją Programu. Przewiduje się zastosowanie jedynie dużych i sprawdzonych reaktorów typu wodnego ciśnieniowego, o mocy jednostkowej powyżej 1 000 MWe, m.in. z uwagi na bogate doświadczenie eksploatacyjne oraz znakomitą charakterystykę bezpieczeństwa.

Wytypowane lokalizacje elektrowni jądrowych są tożsame z lokalizacjami określonymi w PPEJ z 2014 r. Brak zmian w tym zakresie sprawia, że rodzaj i skala oddziaływania na środowisko pozostają takie same, dlatego nie jest też wymagane przeprowadzenie ponownej strategicznej oceny oddziaływania na środowisko. Szczególnie atrakcyjne są lokalizacje nadmorskie oraz lokalizacje centralne, w których obecnie znajdują się duże elektrownie systemowe. Biorąc pod uwagę stan zaawansowania prac lokalizacyjnych i inne uwarunkowania, lokalizacja dla pierwszej elektrowni jądrowej (EJ) w Polsce zostanie wybrana spośród lokalizacji nadmorskich.

Główne działania administracji rządowej są ujęte w 5 podstawowych zadaniach, których realizacja umożliwi osiągnięcie celu programu. Są to: rozwój zasobów ludzkich, rozwój infrastruktury, wsparcie krajowego przemysłu, wzmocnienie systemu dozoru jądrowego oraz komunikacja i informacja społeczna.

Na wszystkich etapach realizacji PPEJ priorytetem jest bezpieczeństwo jądrowe. Ranga tego zagadnienia jest na tyle wysoka, że zgodnie z polskim ustawodawstwem poświęcony jest temu oddzielny dokument strategiczny pod nazwą *Strategia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej*, który przyjmuje Rada Ministrów na wniosek ministra właściwego ds. klimatu. Z tego względu niniejszy dokument nie zawiera rozdziału poświęconego odrębnie kwestiom bezpieczeństwa jądrowego. Dotyczy to także kwestii postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym. Temu zagadnieniu również poświęcony jest oddzielny strategiczny program rządowy w postaci *„Krajowego planu postępowania z odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym”*.

Fakt opublikowania zaktualizowanego PPEJ został odnotowany w polskich i zagranicznych mediach. Artykuły z omówieniem tego dokumentu opublikowały m.in. portale: WYSOKIENAPIECIE, NUCLEAR, CIRE, WNP, BIZNESALERT, a także NucNet. Tytuły doniesień w tym ostatnim medium brzmią: **Poland/New Schedule Aims for Six Nuclear Plants in Operation by 2043** oraz **Poland/Updated Programme Confirms Plans For Up to 9000 MW Of New Nuclear**.

O ile nam wiadomo uwagi do zaktualizowanego PPEJ, zgłosiły placówki naukowe (ICHTJ, NCBJ, CLOR), a także niektóre stowarzyszenia (PTN, OREJ, SEREN).

Redakcja PTJ



## PORTAL WYSOKIENAPIECIE.PL O PPEJ

2 września br. redakcja portalu napisała: „Od kilku tygodni WysokieNapiecie.pl publikuje teksty różnych autorów poświęcone opublikowanemu Programowi Polskiej Energetyki Jądrowej. Chcielibyśmy, aby nasz portal stał się główną platformą debaty o przyszłości energetyki atomowej, zapraszamy zarówno jej zwolenników, jak i przeciwników do wzięcia udziału w dyskusji”

Jednym z aktywnych uczestników tej debaty jest prof. Akademii Górniczo-Hutniczej Ludwik Pieńkowski, który na portalu opublikował dwa artykuły. Oto ich tytuły:

„Dlaczego duże reaktory atomowe przechodzą do historii?” oraz „Czy małe reaktory modułowe spowodują, że energetyka atomowa wróci do łask?”

Główna teza pierwszego artykułu brzmi: „Francja, USA i Korea Południowa nie mają szans na rozwinięcie programu budowy elektrowni atomowych obecnego pokolenia. Liczenie na to, że kontrakt na budowę sześciu reaktorów w Polsce okaże się obustronnie korzystny, to mrzonki”.

Drugi artykuł zawiera następującą konkluzję.

„Powyższa, bardzo skrótowa analiza pokazuje, że w Polsce warto rozważyć budowę ośmiu, może dziewięciu bloków energetycznych NuScale o łącznej mocy około 6 GW. Blok w Żarnowcu może być uruchomiony w 2035 r., a pozostałe w okolicach Bełchatowa do 2040 r.

Wobec dynamicznego postępu w realizacji w USA projektu NuScale i braku sukcesu inwestycji w USA i w Europie w reaktory dużej mocy klasy Gen-3 widać, że każda z tych ścieżek wdrożenia energetyki jądrowej jest ryzykowna, ryzyka mają inne źródła, ale są porównywalne. Dlatego przez najbliższe lata warto, aby Program Polskiej Energetyki Jądrowej obejmował obie te ścieżki i warto śledzić w USA dwa procesy: postęp prac nad programem budowy elektrowni NuScale w Idaho oraz opracowanie i realizację scenariusza działań w sprawie porzuconej w 2017 r. budowy dwóch reaktorów AP1000 w elektrowni V.C. Summer”

Po publikacji pierwszego z wymienionych artykułów polemikę opublikował Jerzy Lipka, prezes Stowarzyszenia Obywatelski Ruch na rzecz Energetyki Jądrowej.



Oto fragment tekstu J. Lipki.

„Coś, co dr L. Pieńkowski uznaje za sytuację niekorzystną z punktu widzenia Polski, czyli kraju chcącego energetykę jądrową dopiero rozwijać, ja uważam za szansę. Jeśli jest bowiem tak, że zamówień na nowe reaktory jądrowe jest na świecie jeszcze niedużo, tym bardziej światowe konsorcja będą zainteresowane realizacją polskiego projektu, a zatem gotowe będą zaoferować, podobnie jak rządy ich krajów korzystniejsze warunki finansowe oraz inne. Gdy sytuacja się odwróci i zamówień będzie dużo więcej, wówczas dla konsorcjów zajmujących się energetyką jądrową polski kontrakt budowy 6 bloków jądrowych nie miałby takiego znaczenia, jak ma obecnie. Mniej zatem byłyby skłonne do dawania korzystnych dla strony polskiej warunków.

Reasumując, jeśli chcemy skutecznie i w sposób radykalny zmienić nasz miks energetyczny w kierunku zero-emisyjności, a energię chcemy mieć po akceptowalnych dla społeczeństwa cenach, nie ma co czekać na małe reaktory modułowe. Będą one owszem atrakcyjne dla prywatnego biznesu jak choćby Michał Sołowow i jego Zakłady Produkcji Kauczuku Synthos. A tymczasem Państwo Polskie winno działać szybko

i zabrać się na poważnie za wdrażanie energetyki jądrowej w naszym kraju. Tej sprawdzonej, wielkoskalowej, pozwalającej od razu zastąpić znaczącą ilość energetycznego złomu, jaki w dużej mierze stanowią nasze najstarsze bloki opalane węglem. Małe reaktory modułowe nie pozwolą nam szybko zmienić przy obowiązujących procedurach polskiego miks, co jest dla nas jako kraju i społeczeństwa sprawą kluczową. Ewentualne zaś koszty tego rozwiązania zawsze należy zestawić z kosztami rozwiązań alternatywnych, które, jak można stwierdzić, choćby na przykładzie Niemiec są astronomicznie wysokie (24 - 30 mld euro rocznie), a nie gwarantują osiągnięcia celów. Celów w kwestii ograniczenia emisyjności energetyki, jak i również dostarczenia energii po akceptowanych cenach. Bo cena niemiecka 31 eurocentów/kWh byłaby dla polskiego odbiorcy zabójcza.

(...) Czekać więc dłużej z energetyką jądrową nie ma na co!”

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



## PUNKT WIDZENIA: NIE MOŻNA MIEĆ PRAWDZIWEJ NIEZALEŻNOŚCI ENERGETYCZNEJ BEZ ENERGII JĄDROWEJ

Aby zabezpieczyć korzyści gospodarcze i bezpieczeństwo energetyczne, Stany Zjednoczone muszą przodować w dziedzinie innowacji jądrowych, pisze Dan Brouillette. Poniżej znajduje się fragment tekstu z blogu Departamentu Energii (DOE) prowadzonego przez amerykańskiego sekretarza ds. energii z dnia 21 sierpnia br.

„Ma to kluczowe znaczenie nie tylko dla zapewnienia czystego, niezawodnego i przystępnego cenowo zasilania w energię mieszkańców USA, ale także dla naszej strategii obrony narodowej. Wielki stan Pensylwania odgrywa kluczową rolę w naszej strategii niezależności energetycznej z kilku powodów, a jego wyjątkowość w naszym narodowym krajobrazie zasługuje na szczególną uwagę.

Za poprzedniej administracji USA trwały swój potencjał do produkcji własnego paliwa jądrowego, zagrożając tym samym naszemu interesowi narodowemu i bezpieczeństwu narodowemu. Co gorsza, Ameryka od dziesięcioleci schodzi ze swojej konkurencyjnej globalnej pozycji jako światowy lider w dziedzinie energii



Fot. 1. Dan Brouillette, amerykański sekretarz ds. Energii (fot. DOE)

i technologii jądrowej, tracąc pozycję na rzecz przedsiębiorstw z państw takich jak Rosja, Chiny i inne konkurujące kraje, które działając agresywnie, chcą przegonić Stany Zjednoczone.

Pod rządami Trumpa przywracamy energii jądrowej należne jej miejsce. Podążamy każdą możliwą drogą, aby zapewnić niezawodną produkcję tego ważnego źródła energii. Energia jądrowa jest niezbędna dla prawdziwej niezależności energetycznej.

W 2019 r. prezydent Donald J. Trump wydał zarządzenie, tworząc Grupę Roboczą ds. Paliwa Jądrowego. Grupa robocza składa się z przedstawicieli agencji rządowych i ma za zadanie sporządzenie planu przywrócenia dominacji USA w dziedzinie energetyki jądrowej.

W odpowiedzi na te wysiłki, w kwietniu 2020 r. DOE ogłosiło *Strategię przywrócenia Ameryce przywództwa w dziedzinie energii jądrowej*, kompleksowy plan określający nasze zalecenia dotyczące sposobu, w jaki USA mogą odzyskać przewagę konkurencyjną w dziedzinie energii jądrowej. Strategia wzywa do ożywienia zdolności w przemyśle wydobywczym, konwersji i wzbogacania uranu, przywrócenia i utrzymania dominacji technologicznej Stanów Zjednoczonych oraz rozwijania eksportu Stanów Zjednoczonych, przy jednoczesnym zapewnieniu spójności z celami USA w zakresie nierozprzestrzeniania i wzmocnienia bezpieczeństwa narodowego.

Dzięki naszej *strategii przywrócenia Ameryce przywództwa w dziedzinie energii jądrowej* będziemy:

- Podejmować **natychmiastowe i odważne działania** w celu wzmocnienia przemysłu wydobywania i konwersji uranu oraz do **przywrócenia rentowności całemu cyklowi paliwowemu**.
- Wykorzystywać amerykańskie innowacje technologiczne i zaawansowane inwestycje w badania jądrowe, rozwój i demonstracje (RD&D), aby skonsolidować postęp techniczny i **przyspieszyć odzyskanie przez Amerykę przewodniej pozycji w następnej generacji technologii jądrowych**.
- Dążyć do zapewnienia funkcjonowania **zdrowego i rozwijającego się sektora energii jądrowej**, któremu górnicy uranu, dostawcy cykli paliwowych i sprzedawcy reaktorów będą mogli sprzedawać swoje produkty i usługi.
- Akceptować całościowe podejście rządowe do **wspierania przemysłu jądrowego w USA w eksporcie technologii jądrowej w konkurencji z przedsiębiorstwami z innych państw**.

Niedawno odwiedziliśmy elektrownię jądrową Susquehanna w Wilkes-Barre, Pensylwania, aby zachęcić pracowników tego obiektu do pomocy w realizacji wymienionych zadań.

Chociaż wzmocniamy nasze bezpieczeństwo energetyczne za pomocą energii jądrowej, wzmocniamy również nasze bezpieczeństwo narodowe za pomocą nowoczesnych, elastycznych i odpornych technologii jądrowych. W tym zakresie podstawową misją DOE National Nuclear Security Administration jest zapewnienie, że Stany Zjednoczone utrzymują bezpieczne, chronione i niezawodne zapasy materiałów jądrowych poprzez zastosowanie najwyższego poziomu nauki, technologii, inżynierii i produkcji.

Energia jądrowa może zapewnić Amerykanom niezawodną energię i jest kluczową częścią naszej ogól-

nej strategii. W obliczu ataku spowodowanego przez człowieka lub klęski żywiołowej ważne jest, abyśmy nie polegali tylko na jednej formie energii. Pensylwania pomaga zapewnić Ameryce bezpieczeństwo energetyczne nie tylko dzięki bogactwu węgla, gazu ziemnego i innych zasobów, ale także chęci pozyskiwania energii jądrowej w miejscach takich jak Susquehanna Steam Electric Station”.

*Dan Brouillette jest sekretarzem Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych.*

*Tekst ukazał się na portalu World Nuclear News 24 sierpnia 2020 r.*

*Dan Brouillette,  
Sekretarz Energii USA*



## NIE POZWÓLMY CHINOM UKRAŚĆ GLOBALNEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ

**Artykuł pod powyższym tytułem autorstwa Michaela Shellenbergera ukazał się na łamach New York Post 17 sierpnia 2020 r.**

Oto poniżej kilka zdań z tego tekstu.

W ukłonie przed ekstremizmem związanym z energią nuklearną, gubernator Nowego Jorku Andrew Cuomo zamyka elektrownię jądrową Indian Point w Buchanan w stanie Nowy Jork.

Chiny podobno pomagają Arabii Saudyjskiej w stworzeniu zakładu produkcji „yellow cake” z rudy uranu. Umowa ta jest kolejnym dowodem na to, że amerykańska polityka antyatomowa pcha sojuszników USA w ramiona naszych nieliberalnych i niedemokratycznych rywali.

„Chińczycy poszerzą swoje stosunki z Saudyjczykami i staną się dostawcą elektrowni jądrowych”, powiedział mi przedstawiciel przemysłu jądrowego w USA.

„Potencjał wielu krajów na Bliskim Wschodzie, które wybiorą broń nuklearną, jest bardzo realny” – mówi ekspert ds. broni jądrowej Richard Rhodes. „A idea narodów Bliskiego Wschodu uzbrojonych w broń nuklearną jest przerażająca, biorąc pod uwagę ich wzajemne relacje”.

Są ludzie w Kongresie, którzy nie rozumieją, że jeśli rząd USA nie sprzedaje energii jądrowej do kraju, inni to zrobią” – mówi Seth Grae z Lightbridge Corporation, jeden z kilku dyrektorów generalnych przemysłu jądrowego, który ostatnio spotkał się z prezydentem Trumpem.

Demokraci nadal naciskają na zamknięcie elektrowni jądrowych. Stany Zjednoczone planują zamknąć 12 reaktorów do 2025 r. I mogą stracić połowę pozostałych reaktorów w ciągu następnej dekady. Dwa z tych

reaktorów znajdują się w nowojorskiej elektrowni atomowej w Indian Point.

Porozumienie Chiny-Arabia Saudyjska powinno posłużyć jako sygnał ostrzegawczy dla Kongresu oraz społeczności zajmującej się bezpieczeństwem narodowym i nieprolifacją. Nadszedł czas, aby Stany Zjednoczone ujednoliciły swoją politykę z Układem NPT i podjęły działania w celu konkurowania z Chińczykami i Rosjanami.

W ramach tych działań Kongres powinien upewnić się, że wszystkie dzisiejsze reaktory, w tym te niedaw-

no zamknięte, pozostaną otwarte przez co najmniej 80 lat. Powinien również rozważyć zmianę ustawy o energii atomowej, aby umożliwić Stanom Zjednoczonym pomoc krajom w rozwijaniu zakładów wzbogacania uranu, tak jak robią to teraz Chiny i Rosja.

Kongres i Biały Dom muszą działać rozważnie i celowo – ale także zdecydowanie – zanim będzie za późno.

*Michael Shellenberger,  
New York Post, USA*

## NIEZAPOMNIANE WIZYTY PRACOWNIKÓW IChTJ U POLSKIEGO PAPIEŻA

W poprzednim numerze naszego czasopisma zamieściliśmy notatkę na temat wydarzenia, które miało miejsce 30 kwietnia 1990 r. Tego dnia Jan Paweł II przyjął w Watykanie delegację Państwowej Agencji Atomistyki z jej prezesem prof. Romanem Żelaznym. W skład delegacji wchodził wówczas – między innymi – prof. Andrzej Chmielewski. O innym wcześniejszym spotkaniu z polskim papieżem napisał krótko dyr. Chmielewski na stronie internetowej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej.

Niniejsza, szersza nota bazuje na informacjach na temat spotkań pracowników IChTJ z Janem Pawłem II zawartych w książce „Od Instytutu Badań Jądrowych do Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej”.



**Fot. 1.** Wizyta u Papieża Jana Pawła II (1988 r.) od lewej: W. Łada, H. Hahn, A. Kłos, A. Będkowska, A. Deptuła, B. Orzeszko, Z. Perzyńska

Pierwsze spotkanie grupy pracowników IChTJ z papieżem odbyło się w roku 1988. W tym właśnie roku ekipa pracowników IChTJ, jak pisze w cytowanej książce Andrzej Deptuła, pojechała na 3 miesiące do Włoch i w imponujący Włochom sposób zmontowała aparaturę do wytwarzania nadprzewodników ceramicznych

z wykorzystaniem kompleksowego procesu zol-żel. W skład ekipy wchodził: A. Deptuła, W. Łada, A. Kłos, B. Orzeszko, H. Hahn, A. Będkowska. Przed oficjalnym uruchomieniem dr Sylvio Stramaccioni, koordynator współpracy zagranicznej ENEA (Agencja Nowoczesnych Technologii, Energii, Środowiska, dawny CNEN), wpadł na pomysł, żeby zaprosić z tej okazji papieża Polaka. Włosi zaobserwowali, że papież był aktywny, odwiedzał we Włoszech fabryki, szkoły, uniwersytety, a nawet mniej ważne instytucje (mówili, że nawet zajadnię autobusową w Rzymie), ale nigdy nie odwiedził instytutu naukowego. Andrzej Deptuła tak pisał: „Prawie zmuszony przez nich napisałem odpowiedni list, na który przyszła szybka odmowna odpowiedź biskupa Stanisława Dziwisza, ale połączona z zaproszeniem na wizytę u papieża. Oczywiście z niego skorzystaliśmy, a na zdjęciu (fot. 1) widać, jak Jan Paweł II z zainteresowaniem słucha opowieści o zol-żelu. Nawiasem mówiąc, wielokrotnie miałem zaszczyt być prywatnie u przyszłego papieża, którego poznałem w 1956 r. w warsztacie narciarskim u Bujaka w Zakopanem. Właściciel o księdzu odbierającym przede mną narty powiedział, że to ksiądz Wojtyła z Krakowa, który jest tak zdolny, że może zostać nawet biskupem!”.

A oto fragment tekstu prof. Andrzeja Chmielewskiego – zawarty w książce – na temat wizyty w Watykanie delegacji polskich atomistów w roku 1990.

„Jedną z pierwszych spośród licznych wizyt zagranicznych nowego prezesa PAA prof. Romana Żelaznego była wizyta we Włoszech na zaproszenie ENEA (Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development). Polsko-włoskie kontakty naukowe, w tym także między Instytutem Badań Jądrowych a centrami ENEA, były od dawna żywe. Nie przerwało ich nawet wprowadzenie stanu wojennego, który tak ograniczył polskie kontakty naukowe z innymi krajami. Bez wątpliwości niezwykle pozytywną rolę odegrał tu dr Silvio Stramaccioni, dyrektor Departamentu Współpracy Zagranicznej ENEA i przyjaciel dra Andrzeja Deptuły, kierownika Pracowni Zol-Żel w IChTJ.

Dzięki kontaktom z drem Stramaccionim, dr Deptuła wraz z ówczesnym sekretarzem naukowym Ambasady Rzeczypospolitej Polskiej w Rzymie doc. Stanisławem Wójtowiczem doprowadził do zorganizowania



Fot. 2. Wizyta u Papieża Jana Pawła II (1990 r.), od prawej: A. Chmielewski

wcześniej wspomnianej oficjalnej wizyty we Włoszech. W skład delegacji, której przewodniczył prof. Żelazny, weszli przedstawiciele PAA, ośrodka w Świerku oraz prof. Andrzej Chmielewski.

Poza szerokim programem wizyt naukowych, niezapomniane wrażenie wywarła na nas oficjalna audyencja u Ojca Świętego Jana Pawła II. Ojciec Święty przyjął nas w bibliotece, z zainteresowaniem wypytywał o działalność naszych instytutów. Miał szczególnie dobry kontakt ze środowiskiem atomistów, ponieważ przyjaźnił się osobiście z profesorami krakowskiego Instytutu Fizyki Jądrowej (IFJ).

Papież zaskoczył nas swoją fenomenalną pamięcią. Poza nazwiskami profesorów pamiętał też dawnego pełnomocnika rządu ds. energetyki jądrowej Wilhelma Billiga, o którym zapomniało już wielu pracowników naszego Instytutu. „Dobrze o nim mówili” podsumował kwestię Ojciec Święty.

Czekając w budynku ambasady na audyencję, usłyszeliśmy o zwyczaju panującym wśród Włochów, który polegał na przekazywaniu Papieżowi podczas spotkania kartki z listą własnych grzechów. Miało to prowadzić do automatycznego rozgrzeszenia. Podczas audyencji miała miejsce sytuacja, która jeszcze raz potwierdza słynne poczucie humoru Jana Pawła II. Pod koniec audyencji sekretarz Papieża zwrócił uwagę, że wśród członków delegacji są Włosi, a etykieta nakazuje, aby Ojciec Święty wypowiedział do nich kilka słów. Papież zawrócił wtedy od wyjścia, podszedł do wspomnianego dra Stramaccioniego, zamienił z nim kilka słów i spytał „Czy ma Pan swoją karteczkę?”. „Moje grzechy są zbyt wielkie, abym śmiał je Ojcu Świętemu przedłożyć” – odpowiedział zapytany. „Wybacz Pan, ale w tej materii to my jesteśmy specjalistami” napomniął go z uśmiechem Ojciec Święty. W jego głosie zabrzmiała dobrotliwa kpina. Ja osobiście odebrałem to zdarzenie jakby Ojciec Święty chciał nam

powiedzieć „Wy atomiści reprezentujecie jedną z najważniejszych dziedzin wiedzy, naukę dążącą do odkrycia praw natury, ale są tajemnice, których nie jesteście w stanie zgłębić. Tu trzeba wiary”. Włosi wyszli z tej wizyty oczarowani, a nas, rodaków Ojca Świętego, spotkanie to niezwykle wzruszyło”.

To tyle ze wspomnień prof. Chmielewskiego, a o kontaktach Jana Pawła II z fizykami krakowskimi pisze w części artykułowej naszego czasopisma pani Małgorzata Nowina Konopka.

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

## PODZIĘKOWANIA DLA EDWARDA RURARZA

Nasz redakcyjny kolega, Edward Rurarz, wkrótce rozpocznie 90. rok życia. Opowieść o swoim życiu Jubilat obiecał przygotować do publikacji w naszym czasopiśmie. Póki co redakcja zaprosiła dr. Edwarda Rurarza na spotkanie, które odbyło się w siedzibie wydawcy na początku lipca.



Fot. 1. Jubilat Edward Rurarz – pośrodku w białej marynarce (fot. Stanisław Latek)

Podczas spotkania pan Edward Rurarz otrzymał okolicznościową plakietę i dyplom, w którym zawarto słowa podziękowania za współpracę i wkład w rozwój czasopisma „Postępy Techniki Jądrowej”. A ta współpraca trwa od lat 60-tych ubiegłego wieku – 60 lat!

Oczywiście, jak to bywa podczas takich spotkań, wspomniano wydarzenia z dziejów polskiej fizyki, wybitnych naukowców, z którymi współpracował dr Rurarz, ośrodki naukowe, które nasz Jubilat odwiedzał.

W spotkaniu uczestniczyli przedstawiciele wydawców PTJ, prof. Andrzej Chmielewski oraz prof. Grażyna Zakrzewska oraz członkowie komitetu redakcyjnego.

Redakcja PTJ

## ATOM NASZ POWSZEDNI: MAŁY, CZY DUŻY?

Przysłowia są mądrością narodu. Gdyby miały się sprawczą wystarczyłoby skorzystać tylko z jednego: „*mądrej głowie dość dwie słowie*”. Ileż czasu marnotrawionego na dzienne i nocne Polaków rozmowy udało by się zaoszczędzić. Czas wykorzystywany byłby wtedy wyłącznie do efektywnego myślenia. W urzędzie – nawet najwyższym – nie ma napisu: „*Uprasza się o ciszę, bo tu się myśli*”. A tym bardziej swojskiego: „*Nie przeszkadzaj!*” Nie mówią nam, że coś jest niemożliwe. I otwarci są na każdą propozycję obywatelską.

A w nocy całe nasze niebo od Odry po Bug, rozświetlone jest fajerwerkami jedynie słusznych myśli. Uliczne oświetlenie byłoby wtedy najzupełniej zbędne. Mam tylko jedną rozterkę, czy musiałby ulec zmianie sens powiedzenia: *nie będę za Ciebie świecił oczyma?*

Rozmarzyłem się nieproduktywnie. Dlaczego? Nie wykluczam, że często genialna myśl przychodzi do głowy. Kulturalnie puka, ale nie zastawszy nikogo, odchodzi. Jeszcze bardziej smutna. Gdyby chociaż niechciane przez nas złote myśli podlegały tezauryzacji. Wtedy dziurawy budżet można załatać. A tu nawet myśli złote rasowemu psu na budę się nie przydadzą.

Cóż, utopie mają to do siebie, iż nie materializują się – jak ongiś – w naszych szarych komórkach. Tylko z pominięciem naszej świadomości od razu już w wirtualu. Przyczyną, dla których tak się dzieje, jest chyba fakt, iż nijakie pomysły przybierają złote szaty tylko na ekranie monitora. W prawdziwym życiu statystycznego Polaka najzwyczajniej nie chcą nawet pozostać szare. Chcą być po prostu trwale nieobecne.

Gwoli prawdy, przypomnijmy, że byli tacy, którym się już wydawało, że wcielili (oczywiście poza poborem do wojska) idee jedynie słuszne. Po czym – zawsze wcześniej, niż później, okazywało się, że obcuja jedynie z iluzją (co najmniej do potęgi drugiej).

Piszę te słowa w czasie szczególnym trawiony autentyczną kampanijną gorączką przedwyborczą. I chcę myśleć wyłącznie pozytywnie, także po wyborach. Jak chyba wszyscy moi rodacy. Pamiętając, ile jeszcze ambitnych programów musimy stworzyć i ...urzeczywistnić. Czwarta generacja perpetuum mobile umożliwiająca osiągnięcie powszechnego dobrostanu (nie mylić z dobrobytem!), łaknie kreatywnej inicjatywy oddolnej: *jak kania dżdżu*.

I myślicie Drodzy Czytelnicy, że wystarczy dostarczyć wodę i już po problemie? On się wtedy dopiero zaczyna, skoro słowniki języka polskiego pod red. M. Szymczaka i W. Doroszewskiego umieszczają ten „krzyżówkowy” frazeologizm pod hasłem *kania* (grzyb), a „Uniwersalny słownik języka polskiego” pod red. S. Dubisza – pod hasłem *kania* (ptak). A wiadomo, że najważniejsze są zawsze hasła. Rak, nie ryba, a grzyb nie

ptak i nawet Komisji (Europejskiej) trudno będzie to zmienić.

Zatem in medias res. A jeśli się żurnalistom (i cyklitom) nie podoba, zaproponujmy – ad rem. Najwyższy dostojnik w naszym państwie udał się z wizytą za wielką wodę i spotkał się z głową państwa, uważanego za najważniejsze na obu półkulach. I nasze media – tak krańcowo zatowizowane w poglądach na sprawy polskie – natychmiast zaczynają się zastanawiać: *przywiezie nam nasz Pan Prezydent stamtąd małą elektrownię jądrową, czy od razu dużą?* Co ludziom, którzy ukończyli szkołę kardynalną w minionym wieku kojarzy się z tytułem obowiązkowej lektury, pióra Jerzego Broszkiewicza: „*Wielka, większa, największa*”. Acz może niektórym decydom krajowej energetyki było nawet przyjemnie posłuchać, jak bardzo wysoko w hierarchii spraw gospodarczych umocowane są zagadnienia energetyki jądrowej. Ale – z ręką na sercu – powiedzmy od razu. Kwestie wyboru technologii energetycznych są ewidentnie po stronie rozumu i pieniędzy. Co do biletów NBP nie jesteśmy oryginalni, ale na nasze usprawiedliwienie proszę wymienić, chociażby jedną rzecz, która nie jest napędzana pieniądzem?! A decyzje racjonalne bronią się – taką mam nadzieję – wyłącznie logiką argumentu. I dlatego wymagają rozległej i głębokiej wiedzy po obu stronach negocjacyjnego stołu. Zatem nie powinny być nigdy przedmiotem okazjonalnej tromtadacji.

Co nie oznacza, że wyczerpująca odpowiedź na pytanie: jakie projekty siłowni jądrowych powinna koniecznie znaleźć się w orbicie zainteresowań decydentów politycznych i gospodarczych. I nie da się pytać zbyć sympatycznym: *oj tam, oj tam...* Pytania z tego zakresu należą bowiem bezsprzecznie do kręgu zagadnień ze wszech miar istotnych. Przede wszystkim z punktu widzenia zakładanej strategii rozwoju gospodarczego. Jest to na tyle ważny dylemat, że wymaga pierwszeństwa myśli eksperckiej nad emocjami żurnalistów, stwarzających news na jeden dzień. Ten natomiast jest w dniu następnym przykrywany kolejnym z innej dziedziny. Pozostaje tylko szum informacyjny generowany przez jednodniową sensację.

Na małą chwilę odwołam się do niedalekiej przeszłości. Dwadzieścia lat temu przeprowadziłem wywiad („*Białe – czerwone na Riwierze*”) z ówczesnym najbogatszym Polakiem, panem Aleksandrem Gudzwatym. Kiedy zbliżaliśmy się do końca naszej rozmowy, zapytałem: *A nie zechciałby Pan zainwestować w jakiś ambitny nowatorski program naukowo-techniczny, chociażby dlatego, żeby mieć zwykłą ludzką satysfakcję nie tylko z samego faktu posiadania pieniędzy*. Otrzymałem odpowiedź, że oczywiście – tak. I jego wybór padł na ... wodór. Ciekawe! Dwie strony innowacyjnego wodorowego tematu. Wodór jako paliwo konwencjonalne do pojazdów oraz zagadnienia procesu łączenia wodoru z tlenem w ogniach paliwowych. Dziś po latach do-

chodzi jeszcze jedna interesująca kwestia. Możliwości nieelektrycznego zastosowania energii jądrowej, czyli użycia reaktorów wysokotemperaturowych do produkcji paliwa przyszłości, jak nazywa się już powszechnie wodór. (Jest to osobny wątek, a raczej wątki, o czym ciekawie informuje dr Józef Sobolewski w artykule PTJ w numerze 2/2020).

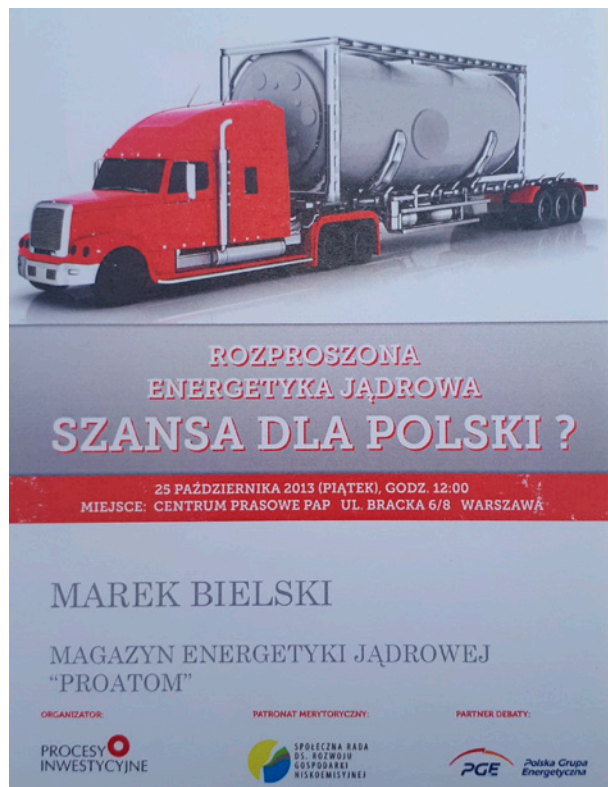
Pan Aleksander Gudzowaty oznajmił, że jak tylko pomysł nabierze rumieńców, spotkamy się i porozmawiamy. I nie trudno się domyślić dalszego biegu sprawy. Powiedzieć, że spektakularnego sukcesu nie było, jest zwykłym nadużyciem. Sam pomysł upadł, zanim się na dobre zaczął. Jeden człowiek, nawet z biznesowej czołówki nie był w stanie udźwignąć szeroko rozbudowanego programu. Sukces był więc w tej dziedzinie trwale nieobecny.

Nie z kronikarskiej skrzętności, ale z racji merytorycznych, odnotujmy, że sam temat reaktorów jądrowych małych mocy był już w Polsce wywołany przed siedmiu laty. Dobrze pamiętam, zaczęło się „W samo południe”, ale nie chodzi o western z Gary Cooperem, acz swoją tam obecność zaznaczyli także Amerykanie. Godzina 12.00, dnia 25 października, roku 2013. Centrum Prasowe PAP przy Brackiej 6/8 w Warszawie. (vide – foto zaproszenia). Tam odbyła się konferencja „Rozproszona energetyka jądrowa. SZANSA DLA POLSKI?” z udziałem pełnomocnika rządu RP ds. energetyki jądrowej, ekspertów polskich oraz łączących się w trybie wideo specjalistów amerykańskich, w tym urzędników wysokiego szczebla. Partnerem debaty była Społeczna Rada Rozwoju Gospodarki Niskoemisyjnej i Polska Grupa Energetyczna.

Siedem lat minęło – jak jeden dzień – i tym razem inny indywidualista chce ambitnie przetestować siłę własnych pieniędzy. I ma do tego prawo! Podpisać nawet wstępne porozumienie. Wybór padł na BWRX-300 projektowany przez amerykańsko-japońskie konsorcjum GE-Hitachi Nuclear Energy. Tym bardziej że, polski miliarderów – nowatorski w całej rozciągłości semantycznej tego słowa – „mały reaktor jądrowy” w najbliższej przyszłości chce użytkować do celów przemysłowych w... Polsce. W skali całej narodowej gospodarki, a raczej jej rosnących potrzeb jest on faktycznie „mały”, ale patrząc z punktu widzenia nawet najbogatszego Polaka, inwestycja jest dość kosztowną operacją i logistycznie nader złożoną. I obarczona ryzykiem technicznej innowacyjnej premiery stanowi tym bardziej ambitne wyzwanie.

Nie wiemy, jak potoczą się dalsze koleje losu reaktorów jądrowych modułowych SMR małych mocy. Można spodziewać się, że sprawdzą się w stopniu satysfakcjonującym naukowców, projektantów, inżynierów i – co nie jest bez znaczenia – inwestorów, jako stabilne źródło zasilania dla dużych zakładów przemysłowych. Dodajmy, że tych energochłonnych, a dla funkcjonowania gospodarki narodowej niezbędnych. Rodzą się natural-

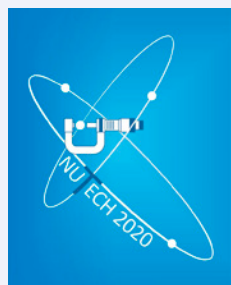
nie pytania na różnych etapach wdrażania programu. A na marginesie: czy na przykład generator o mocy 200 MW też wpisuje się w tę koncepcję energetyki jądrowej rozproszonej? I czy w ogóle będzie mowa w tym wypadku o partnerstwie publiczno-prywatnym? Bezwzględnie jednak warto sobie konkretnie przyswoić aktualny sens powiedzenia „small is beautiful”.



Fot. 1. Zaproszenie na konferencję „Rozproszona energetyka jądrowa. SZANSA DLA POLSKI?”

Jako racjonalista, innym racjonalistom proponuję – w geście solidarności – konsekwentnie trzymać w tej sprawie zaciśnięte kciuki. A w dłoni kartkę z mocnymi stronami całego przedsięwzięcia. Cóż bowiem innego pozostało zadeklarowanym wolnomyślicielom? Wolny wybór preferencji (w tym zawodowych) mamy wszak gwarantowany przez ustrój demokratyczny. Ale już tak zwanej reszty o charakterze intelektualno-techniczno-promocyjnej, musimy dokonać sami. Co nie oznacza, że „wespół w zespół” w szerokiej społecznej kampanii pchania czołowej moreny zdrowego rozsądku, czy nawet podjęcia próby rozhuśtania czegoś na kształt pospolitego ruszenia nie da się wszystkiego zrobić dużo lepiej, sprawniej, efektywniej i może...taniej? Od słów do czynów. Co dla mocno spowolnionej „covidowską” nawałą i wciąż wyhamowującej tempo krajowej gospodarki, doprawdy nie jest bez zasadniczego znaczenia.

Marek Bielski,  
Przegląd Techniczny,  
Warszawa



## NUTECH 2020 W FORMIE HYBRYDOWEJ

W związku z globalnym wybuchem pandemii zakaźnej choroby COVID-19 wywołanej przez koronawirusa SARS-CoV-2 organizatorzy konferencji NUTECH 2020 podjęli trudną, ale konieczną decyzję o zorganizowaniu jej w formie hybrydowej. Termin 4–7 października 2020 r. został utrzymany. Zmieniono natomiast miejsce konferencji na Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie, ul. Dorodna 16. Wydłużono również termin zgłaszania komunikatów do 1 września br. Organizatorzy zapewniają, że będą ściśle przestrzegane wymagania dotyczące dystansu społecznego i środków ochrony indywidualnej tak, aby zapewnić bezpieczeństwo wszystkim uczestnikom, którzy osobiście wezmą udział w konferencji. W przypadku, gdy ktoś nie będzie w stanie dotrzeć do Warszawy w czasie konferencji, może dołączyć do wszystkich sesji i jednocześnie zaprezentować swoją pracę na wirtualnej platformie konferencyjnej online prowadzącej transmisję audio-wideo w czasie rzeczywistym. Technologia typu „Streaming” umożliwi przesyłanie takich danych jak fonia, wizja i tekst „na żywo”, dzięki czemu uczestnik otrzymuje pełnowartościowe informacje: słyszysz i widzisz prelegenta „na żywo”, a całą prezentację może śledzić u siebie na ekranie. Opłata dla wirtualnego uczestnika to 100 €. Obejmuje ona indywidualny kod do wirtualnego dostępu do wszystkich Sesji Konferencyjnych, Sesję Plakatową i pełny dostęp do dyskusji online, elektroniczną wersję książki streszczeń, dostęp do zasobów pokonferencyjnych, e-zaświadczenie o uczestnictwie. Wybrane komunikaty zostaną opublikowane w Nukleonice, międzynarodowym naukowym czasopiśmie z listy filadelfijskiej. Warto również zwrócić uwagę na dwie sesje specjalne organizowane w ramach NUTECH 2020 przez ARIES (Accelerator Research and Innovation for European Science and Society) i ISTR (International Society for Tracer and Radiation Application). Aktualne szczegóły organizacyjne można znaleźć na stronie <https://www.nutech2020.pl/>.

Konferencji Nutech 2020 towarzyszyć będzie internetowe szkolenie (Webinar) na temat zastosowania promieniowania jonizującego do sterylizacji sprzętu medycznego, środków ochrony indywidualnej i innych obiektów zakażonych mikrobiologicznie. Webcast zostanie zorganizowany 7 października przez pracowników Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej we współpracy z CEI (Central European Initiative) w ramach projektu „Dissemination of the Knowledge on Application of Ionising Radiation for Sterilization of Medical Equipment, Personal Protection Equipment and the other Microbiologically Infected Objects”. Konferencja w języku angielskim będzie otwarta dla szerokiej publiczności. W sesji tej nieodpłatnie mogą wziąć udział wszystkie zainteresowane osoby. Organizatorzy liczą na udział polskich i zagranicznych wytwórców wyrobów medycznych, produktów leczniczych, opakowań dla przemysłu farmaceutycznego i spożywczego, jak i lekarzy, farmaceutów, pracowników Stacji Sanitarno-Epidemiologicznych oraz konserwatorów dzieł sztuki. Zaplanowano następujące prezentacje: dr Zbigniew Zimek, „Ionizing radiation sources used in the process of radiation sterilization („Źródła promieniowania jonizującego stosowane w procesie radiacyjnej sterylizacji”); dr Sylwester Sommer, „Microbiological aspects of the process of radiation sterilization with the emphasis of virus sterilization possibility” („Mikrobiologiczne aspekty procesu sterylizacji radiacyjnej ze szczególnym uwzględnieniem możliwości sterylizacji wirusów”) oraz „Low dose of radiation chest therapy – is it possible and effective in case of Covid-19?” („Niska dawka radioterapii klatki piersiowej – czy jest możliwa i skuteczna w przypadku Covid-19?”); dr hab. Krystyna Cieśla, „Ionizing radiation influence on the physico-chemical and functional properties of the materials” („Wpływ promieniowania jonizującego na właściwości fizyko-chemiczne i użytkowe materiałów”), dr Andrzej Rafalski: „Radiation sterilization of medical equipment, personal protection equipment, and the other microbiologically infected objects” („Sterylizacja radiacyjna sprzętu medycznego, środków ochrony indywidualnej oraz innych przedmiotów zakażonych mikrobiologicznie”. Szczegółowe informacje na temat organizacji szkolenia będą aktualizowane na stronie [www.ichtj.waw.pl](http://www.ichtj.waw.pl).

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



International Society for Tracer  
and Radiation Applications

**SEMINARIUM INTERNETOWE CEI**



POŻEGNANIE PROF.  
DR. HAB. ADAMA  
STRZAŁKOWSKIEGO  
1923-2020



Fot. 1. Profesor Adam Strzałkowski

Profesor Adam Strzałkowski urodził się 26 listopada 1923 r. w Tenczynku k. Krzeszowic. Przed wojną uczęszczał do Gimnazjum im. Jana III Sobieskiego w Krakowie. W latach 1940-1942 był uczniem wydziału elektrycznego Szkoły Przemysłowej, w której nauczycielami byli profesorowie Akademii Górniczo-Hutniczej. W tym samym czasie w ramach tajnego nauczania zdał małą maturę. Dużą maturę zdał już po wojnie i zapisał się na studia fizyki na Uniwersytecie Jagiellońskim. Ukończył je w 1948 r., otrzymując tytuł magistra, jako specjalność wybrał doświadczalną fizykę jądrową. Jeszcze jako student pracował na stanowisku asystenta w Obserwatorium Astronomicznym u prof. Tadeusza Banachiewicza. Razem z Olegiem Czyżewskim i Jerzym de Mezerem zbudował pierwszy w Polsce radioteleskop.

Ale już od ok. 1950 r. zdecydował się zajmować eksperymentalną fizyką jądrową. Jego drugim Mistrzem od tej pory był prof. Henryk Niewodniczański. W latach 1950-1961 pracował na stanowisku adiunkta w Zakładzie Fizyki Jądra Atomowego Instytutu Fizyki, uzyskując stopień doktora 1 czerwca 1960 r. Po habilitacji w 1963 r. kontynuował pracę na stanowisku docenta do roku 1971, kiedy to otrzymał tytuł profesora nadzwyczajnego. Po pięciu kolejnych latach otrzymał tytuł profesora zwyczajnego.

W latach 1957-1959 odbył staż naukowy w Laboratorium Fizyki Jądrowej Uniwersytetu w Liverpoolu. W kolejnych latach prowadził badania naukowe we współpracy z wieloma ośrodkami naukowymi w Niemczech, Szwajcarii, Wielkiej Brytanii i we Włoszech. W ramach

tej współpracy wielu doktorantów, asystentów i profesorów Instytutu Fizyki UJ mogło prowadzić badania naukowe na najwyższym poziomie w prestiżowych ośrodkach naukowych.

Jednym z najważniejszych dokonań Profesora jest odkrycie tzw. jądrowego efektu glorii w badaniach prowadzonych w latach 60-tych na cyklotronie U-120 zlokalizowanym w Instytucie Fizyki Jądrowej w Bronowicach. To odkrycie było wynikiem prac prowadzonych razem z profesorami: Niewodniczańskim, Budzanowskim, Grotowskim i Jarczykiem.

W trakcie pracy na Uniwersytecie Jagiellońskim prof. Strzałkowski pełnił wiele funkcji. W latach 1971-1974 oraz 1977-1981 był dyrektorem Instytutu Fizyki. Natomiast w latach 1972-1975 zajmował stanowisko Prorektora Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Profesor Strzałkowski położył wielkie zasługi naukowe i organizacyjne także dla Instytutu Fizyki Jądrowej, którego był pracownikiem w latach 1953-1983. Jako bliski współpracownik i uczeń prof. Niewodniczańskiego był współtwórcą tego Instytutu, a w latach 1958-1983 kierował Zakładem Reakcji Jądrowych.

Profesor Strzałkowski brał także udział w organizacji filii UJ w Katowicach, z której powstał następnie Uniwersytet Śląski. Był pierwszym dyrektorem Instytutu Fizyki filii UJ w Katowicach w latach 1963-1968.

Za swoją działalność naukową i organizacyjną został uhonorowany wieloma odznaczeniami i tytułami. Otrzymał tytuł Profesora Honorowego Uniwersytetu Jagiellońskiego. Został doktorem honoris causa Uniwersytetu Śląskiego. Odznaczono Profesora Krzyżami Kawalerskim, Oficerskim i Komandorskim z Gwiazdą Orderu Odrodzenia Polski. Otrzymał także Krzyż Zasługi I klasy Orderu Zasługi RFN.

Profesor Strzałkowski został także nagrodzony Złotą Odznaką „Zasłużony dla województwa katowickiego” oraz Nagrodą Miasta Krakowa w 2013 r. w 90. urodziny.

Profesor Adam Strzałkowski zostanie zapamiętany jako opiekun naukowy oraz promotor wielu pokoleń fizyków jądrowych, w tym także kilku profesorów Instytutu Fizyki UJ. Podręcznik jego autorstwa „Wstęp do fizyki jądra atomowego” jest znany chyba wszystkim, którzy studiowali fizykę jądrową w Polsce w ostatnim półwieczu. Profesor na zawsze pozostanie w naszej pamięci jako wspaniały człowiek, wielki uczyony, niekwestionowany autorytet i Mistrz. Jego odejście jest niepowetowaną stratą dla całej polskiej fizyki jądrowej, a w szczególności dla środowiska krakowskiego.

*prof. dr hab. Roman Planeta,  
Instytut Fizyki im. Mariana Smoluchowskiego,  
Uniwersytet Jagielloński,  
Kraków*





## ZMARŁ HENRYK WUJEC 1940-2020



**Fot. 1.** Henryk Wujec (z archiwum Klubu Inteligencji Katolickiej)

5. sierpnia 2020 r. zmarł Henryk Wujec, działacz społeczny, polityk, fizyk, uczestnik opozycji demokratycznej w okresie PRL, współpracownik KOR, członek władz NSZZ „SOLIDARNOŚĆ”, internowany w stanie wojennym, uczestnik obrad Okrągłego Stołu, w III RP poseł, minister, doradca Prezydenta RP.

Henryk Wujec był wieloletnim członkiem Klubu Inteligencji Katolickiej w Warszawie.

Uroczystości pogrzebowe odbyły się w świątyni Opatrzności Bożej i na Cmentarzu Wojskowym na Powązkach. Dominikanin, ojciec Tomasz Dostatni w swej homilii w kościele wspominał słowa syna Wujca, Pawła, który powiedział mu, że „zna ludzi wierzących mniej i bardziej, ale niewielu takich, dla których wiara i religia są naprawdę pasją, a tata się nią naprawdę interesował”. – Pytałem się go niedawno, może miesiąc temu, dlaczego właśnie fizyka i wiara. Wyjaśnił, że jedno i drugie dąży do poznania odpowiedzi, jaki jest sens świata i wszechświata i jaki jest sens naszego życia, naszej obecności w świecie – wspominał duchowny słowa syna Henryka Wujca.

Na cmentarzu przemawiało wiele osób, a wśród nich Jakub Wygnański, socjolog, współtwórca organizacji pozarządowych i uczestnik obrad Okrągłego Stołu, przyjaciel Wujca. Wygnański powiedział, że „trudno powiedzieć krótko o kimś, kto był ważny dla nas wszystkich”. – Był kimś więcej niż znajomym. Był przyjacielem, szefem, nauczycielem, mistrzem. Był też autorytetem, ale w takim rozumieniu, które na swoje potrzeby definiuję tak, że jest to ktoś, przed kim nie chciałbym się wstydić. To jest dla mnie bardzo ważne i myślę, że każdy powinien mieć takie osoby, bo to bardzo pomaga w nawigacji – powiedział.

Henryk był tytanem pracy i mistrzem organizacji. Miał wrodzony talent, jakąś mieszaninę chłopskiego uporu i sprytu. Był jednocześnie Henrykiem i Heniem. On coś w sobie takiego miał, był niemożliwy do zdarcia, a jednocześnie było w nim to coś miękkie, łagodne – mówił Wygnański.



**Fot. 2.** Henryk Wujec jest drugi od lewej (fot. Wiesław Chabros)

– Henryk był jednocześnie konserwatywny i progresywny, lewicowy i prawicowy. Ale dla niego ważniejszym elementem azymutu na tej mapie była prawość i nieprawość. To jest zupełnie inny rodzaj topografii i myślę, że tego się od niego nauczyliśmy – dodał.

Ktoś ze wspominających Henryka powiedział, że po magisterium otrzymał On propozycję pracy naukowej na uczelni. Wujec tej oferty nie przyjął, wyjaśniając, że ma inne plany. I dzisiaj można powiedzieć, że projekt Henia obalenia komunizmu wart był poświęcenia kariery naukowej jako fizyka.

We wspomnieniach o śp. Henryku Wujcu jako rok ukończenia przez Niego studiów na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego podaje się rok 1970. Być może rzeczywiście Henio zdobył dyplom absolwenta studiów fizycznych dopiero jako trzydziestolatek... Jednak ja – jeśli mnie pamięć nie myli – poznałem i spotykałem Henia w domu akademickim UW na Anielewicza oraz podczas zajęć na Wydziale Fizyki na Hożej. Był to początek lat 60-tych ubiegłego wieku!

To Henryk Wujec namówił mnie wtedy, abym zapisał się do KIK-u. 60 lat temu!

Potem była epoka naszej działalności w różnych dziedzinach. Henryk zajął się obroną osób represjonowanych i polityką, ja pracowałem w Instytucie Badań Jądrowych, Państwowej Agencji Atomistyki i w KIK-u. I właśnie w KIK-u bardzo często spotykałem Henryka.

Ale chyba najczęściej spotykałem Henia i Jego żonę Ludwikę w ostatnich trzech latach. Otóż na początku

roku 2017 rozpoczęły się **spotkania członków Klubu Fizyka Seniora, którego współzałożycielami byli właśnie Państwo Wujcowie.**

Spotkania organizowane były co kilka tygodni. Odbywały się na uczelniach, w instytutach naukowych (między innymi w Świerku), w Centrum Nauki Kopernik, w szkołach. Tematy spotkań były bardzo różnorodne: najnowsze osiągnięcia w fizyce, współczesne nauczanie fizyki w szkole, wspomnienia z czasów studiów, anegdota o fizykach.

Każde spotkanie poza częścią merytoryczną zawierało część „towarzyską”, podczas której odbywały się rozmowy przy kawie i herbacie.

Warto zauważyć, że fizycy seniorzy rozmawiali także na tematy historyczno-polityczne. Przypomniano między innymi o wydarzeniach Marca 68 na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. W wydarzeniach tych czynnie uczestniczył Henryk Wujec.

Spotkania organizowała głównie p. Ludwika Wujec. Po pojawieniu się pandemii i zachorowaniu Henryka organizację spotkań Klubu Fizyka Seniora zawieszono.

Żegnam Kolegę, człowieka pogodnego, dobrego, uczciwego, skromnego, prawego.

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



**Fot. 3.** Wujec pierwszy od lewej. Zdjęcia zrobiono podczas spotkania Klubu Fizyka Seniora z nauczycielami i uczniami Szkoły Integracyjnej znajdującej się na ul. św. Bonifacego w Warszawie (fot. Wiesław Chabros)

# KONTAKTY JANA PAWŁA II Z FIZYKAMI



*Papież wśród uczestników seminarium.*

*Na zdjęciu obok Papieża są dzieci Elizabeth (Elka) i Marek Poliks.*

*Po lewej stronie stoją profesorowie Irena i Zbigniew Jacyna-Onyszkiewicz.*

*Z tyłu za Zbigniewem Jacyna-Onyszkiewiczem osoba nierozpoznana.*

*Z tyłu po lewej stronie Ireny Jacyna Onyszkiewicz stoi prof. Aleksander Koj.*

*Następnie prof. Władysław Stróżewski i żona Halina, (Barbara Janik-Poliks) i mąż Mark Poliks oraz Maria Kołos (żona zmarłego w 1996 r. prof. Włodzimierza Kołosa)*



*Castel Gandolfo 2003. W I rządzie od góry, od lewej: Elka Poliks (wnuczka prof. Janika, Władysław Stróżewski, Anna Fulińska, Andrzej Fuliński, Barbara Poliks (córka J. Janika) Marek Poliks, Marcin Chrostek (wnuk), Joanna Chrostek (córka), II rząd: Zbigniew Jacyna Onyszkiewicz, Agnieszka Fulińska, Jerzy Janik Małgorzata Chrostek (wnuczka)*

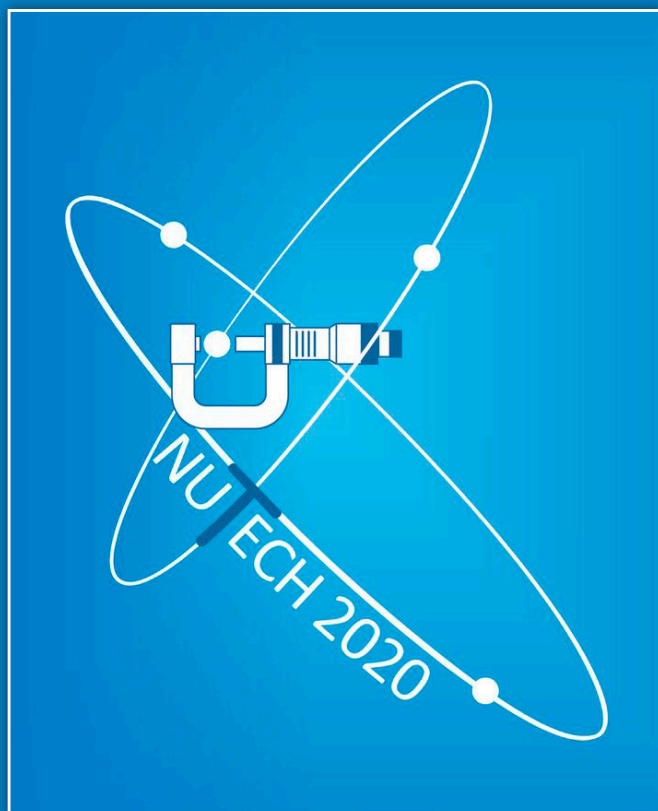


*Papież z prof. Krzysztofem Rybickim zrobione podczas wizyty w CERN-ie w 1982 r.*

# NUTECH 2020

## MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NA TEMAT ROZWOJU I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII JĄDROWYCH

Warszawa, 4-7.10.2020 r.



**NUTECH 2020**  
Warsaw, 4-7 October 2020  
International Conference on Development  
and Applications of Nuclear Technologies

We kindly invite you to attend forthcoming **NUTECH 2020** Conference that will be held in Warsaw, Poland 4-7 October. With a significant number of foreign participants the **NUTECH** conference provides a great opportunity to meet distinguished experts, share the experience and to learn about the recent developments going on in nuclear research and their practical applications.

**TOPICS OF THE CONFERENCE**

- radiation processing of materials,
- radiation sterilization and health care products development,
- food irradiation,
- industrial application of the nuclear techniques,
- nuclear medicine & radiopharmaceuticals,
- nucleonic control systems,
- radioanalytical and radiotracer techniques,
- radiation technologies in environmental and earth studies applications,
- nuclear technologies in protection and identification of cultural heritage,
- radiation measurements, data processing and acquisition,
- radiation sources (eb, X-ray and gamma) development applications,
- quality control and assurance in nuclear technologies,
- management of nuclear wastes,
- radioprotection and radiobiology,
- present status and future of nuclear energy,
- other topics related to nuclear and radiation related sciences.

**ORGANIZERS**

[www.nutech2020.pl](http://www.nutech2020.pl)

### ORGANIZATORZY.



### PATRONAT HONOROWY



MINISTERSTWO  
KLIMATU