

# POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 64 Z. 4 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2021



## 10-lecie Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich

czytaj na str. 35, 39)

# 4-2021

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ  
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

## SPIS TREŚCI NR 4/2021

OBLICZENIA NEUTRONOWE REAKTORA AP1000 Szymon Suchcicki .....	2
JAK ZREALIZOWAĆ PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ (PPEJ) Dariusz Witold Kulczyński .....	7
KRYTERIA WYBORU DOSTAWCY REAKTORA DO POLSKIEJ ELEKTROWNI Krzysztof Rzymkowski .....	15
ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE W 2021 ROKU – CIĄG DALSZY Andrzej Mikulski .....	18
ALARA, CZYLI OPTIMALIZACJA W OCHRONIE RADIOLOGICZNEJ – ANALIZA DLA POLSKI Ernest Bugała, Krzysztof W. Fornalski .....	22
WIADOMOŚCI Z KRAJU .....	35
WIADOMOŚCI ZE ŚWIATA .....	38
WYDARZENIA .....	39
HISTORIA STOSUNKÓW POLSKO-FRANCUSKICH .....	47
INFORMACJE O KSIĄŻKACH ZAPOMNIANY GENIUSZ LISE MEITNER – PIERWSZA DAMA FIZYKI JĄDROWEJ Krzysztof Rzymkowski .....	51
FELIETON MOJE PRAWO ARCHIMEDESA, CZYLI EUREKA' 2022 Marek Bielski .....	52
LIST DO REDAKCJI .....	53
IN MEMORIAM – WSPOMNIENIE O PROF. DR HAB. JERZYM PEŃSKO.....	54



Kwartalnik naukowo-informacyjny  
Postępy Techniki Jądrowej

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

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

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

Komitet redakcyjny:  
Wojciech Głuszewski  
Marek Rabiński  
Łukasz Sawicki  
Elżbieta Zalewska

Współpracują z nami:  
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**

W październiku bieżącego roku minęło 60 lat od daty powstania Krajowego Składowiska Odpadów Promieniotwórczych (KSOP). Z tej okazji na łamach dwóch ostatnich numerów naszego czasopisma opublikowane zostały materiały na temat odpadów promieniotwórczych. Czytelnicy naszego czasopisma mieli, więc możliwość zapoznania się z tematyką „odpadową”.

Innym ważnym wydarzeniem publicystycznym był zamieszczony tekst wywiadu, jakiego udzielił redakcji PTJ Piotr Naimski, Sekretarz Stanu, Pełnomocnik Rządu ds. Strategicznej Infrastruktury Energetycznej. Większość pytań zadanych Panu Ministrowi dotyczyła przyjętego przez Radę Ministrów Programu Polskiej Energetyki Jądrowej.

I w tym właśnie numerze-poświęcone energetyce jądrowej są cztery pierwsze artykuły.

Autorem pierwszego z nich jest Szymon Suchcicki. Opisane w artykule **obliczenia neutronowe reaktora AP1000** są istotną częścią analiz bezpieczeństwa. Wyniki tych obliczeń są zbliżone do rezultatów zaprezentowanych w raportach amerykańskich, co potwierdza, że reaktor został prawidłowo zamodelowany, a kody obliczeniowe stosowane w Państwowej Agencji Atomistyki są odpowiednie do tego typu obliczeń. Z punktu widzenia dozoru jądrowego bardzo duże znaczenie ma możliwość przeprowadzania analiz wykorzystujących sprężone kody neutronowe i ciepłno-przepływowe. Opisane w niniejszym artykule modele obliczeniowe zostaną wykorzystane do symulacji awarii zachodzących w rdzeniu reaktora. Planowane jest połączenie ich z modelem zbiornika ciśnieniowego reaktora AP1000 i przeprowadzenie sprężonych symulacji neutronowych i ciepłno-przepływowych. Połączenie tych dwóch rodzajów kodów daje dokładniejszy obraz przebiegu awarii, w których istotny wpływ ma kinetyka reaktora. Jak nasi Czytelnicy zapewne wiedzą reaktor AP1000 jest typowany przez firmę Westinghouse do budowy w Polsce, w ramach realizacji PPEJ.

**Jak zrealizować Polski Program Energetyki Jądrowej (PPEJ)** – pyta Dariusz Witold Kulczyński. W artykule omówiono polski program energetyki jądrowej i przedstawiono krótką charakterystykę reaktora AP1000. Podano źródła informacji, które mogą być pomocne przy ocenie generalnego wykonawcy, poddostawców i przy formułowaniu kontraktu. Wyliczono potencjalne zagrożenia w okresie budowy, rozruchu i eksploatacji elektrowni jądrowej ilustrując je przykładami opartymi na doświadczeniach autora. Podkreślono znaczenie przejrzystości harmonogramów. Omówiono cechy dobrze zorganizowanej dokumentacji i szkolenia oraz przedstawiono przykłady właściwie i niewłaściwie realizowanych przedsięwzięć. Podkreślono znaczenie stabilności struktur organizacyjnych. Zasygnalizowano zorganizowane przekazywanie wiedzy opartej na doświadczeniu zawodowym przez starsze pokolenia polskich specjalistów.

**O kryteriach poza technicznych wyboru dostawcy reaktora do polskiej elektrowni** pisze Krzysztof Rzymkowski. Oto fragment tekstu: „Wybór dostawcy – wykonawcy wprowadzi w energetyce pewien rodzaj standaryzacji. Dobrze by było, by nie odbiegała ona zbyt wyraźnie od obecnych uregulowań, szczególnie od standardów europejskich. Należy się spodziewać, że wybrany zagraniczny dostawca będzie jednocześnie współinwestorem, ułatwiającym pozyskanie atrakcyjnych kosztowo kredytów eksportowych i innych źródeł kapitału i wniesie swoje doświadczenie w budowie i eksploatacji elektrowni. Przy wyborze dostawcy, a właściwie partnera biznesowego konieczne jest utworzenie odpowiedniego modelu biznesowego, w tym struktury finansowania. Ważne by rząd miał wpływ na określenie jasnego podziału ryzyka między stronami realizującymi budowę (ze strony rządu wsparcie polityczne i zapewnienie odpowiednich regulacji prawnych), a ze strony wykonawcy projektowanie, dostawę, budowę, rozruch, przekazanie do eksploatacji całości obiektu. Dostawca wybranego modelu reaktora, może przy tych założeniach liczyć na stabilną wieloletnią współpracę, szczególnie w przypadku rozwijania projektu modernizacji systemu energetycznego.

Autorem ostatniego tekstu w części energetycznej jest Andrzej Mikulski, w którym **przedstawiono skrót podejmowanych działań związanych z energetyką jądrową w Polsce w czwartym kwartale 2021 r.**

Ernest Bugała i Krzysztof W. Fornalski przygotowali artykuł pod tytułem **„ALARA, czyli optymalizacja w ochronie radio-**

**logicznej – analiza dla Polski”**, w którym skupiono się na ilościowym podejściu do opisanej w ustawie Prawo atomowe zasady optymalizacji, która jest implementacją międzynarodowej zasady ALARA, czyli redukcji narażenia na promieniowanie jonizujące do poziomu tak niskiego, jak jest to rozsądnie możliwe. W oparciu o praktyki międzynarodowe opisano kwestię wyznaczania parametru (alfa) w ochronie radiologicznej dla Polski, który opisuje materialny koszt skutków napromienienia pojedynczej osoby dawką skuteczną jednego siwerta. Obliczenia zostały przeprowadzone dla trzech sposobów wyznaczania parametru: metody PKB, metody bazującej na państwowo regulowanych odzkodowaniach oraz metody skłonności. Ostatecznie oszacowany dla Polski parametr wynosi około 100 000 zł/Sv, co jest zgodne z praktykami międzynarodowymi.

W części informacyjnej numeru znajdują Państwo doniesienia oraz informacje o wydarzeniach, które warto przeczytać.

Pierwsze doniesienie przygotowane przez Wojciecha Głuszewskiego dotyczy obchodów 10-lecia Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich. Szersza informacja o Muzeum napisana przez Grzegorza Jezerskiego zamieszczona jest w dziale Wydarzenia. Do tych wydarzeń w Opolu nawiązują fotografie zamieszczone na okładkach czasopisma.

Kolejne informacje z kraju dotyczą między innymi radiacyjnej sterylizacji opakowań oraz powołania nowej spółki w NCBR. Spółka ta, która nosi nazwę IDEAS NCBR sp. z o.o. to ośrodek badawczo-rozwojowy działający w obszarze sztucznej inteligencji i ekonomii cyfrowej.

Ciekawym doniesieniem z zagranicy jest informacja o tym, jak postregana była energia jądrowa na niedawno zakończonym szczycie klimatycznym COP26 w Glasgow.

Jak już wcześniej wspomniano w części Wydarzenia znajdują Czytelnicy informacje o historii i stanie obecnym Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich. Na dzień 30 lipca 2021 r. Muzeum posiadało ogółem 1377 eksponatów.

Otwarcie Muzeum nastąpiło 8 listopada 2011 r. – 110 lat po przyznaniu pierwszej nagrody Nobla Wilhelmowi Rentgenowi. 7 listopada 154 lata temu w budynku przy ul. Freta 16 w Warszawie przyszła na świat Maria Skłodowska. Z okazji rocznicy urodzin tej wielkiej uczoney ciekawy felieton przygotowała Małgorzata Sobieszczak-Marciniak.

6 listopada pod pomnikiem Kopernika w Warszawie zorganizowana została akcja „Stand up for nuclear”. Pisz o niej Jerzy Lipka.

Naszym francuskim przyjaciółom, małżeństwu Nathalie Beauzement i Gerardowi Soufflet, byłym pracownikom EDF, odpowiedzialnym za relacje z polskim sektorem energetycznym zawdzięczamy powstanie i publikację tekstu opowiadającego o geście solidarności, w czasie Świąt Bożego Narodzenia 1939 r., pomiędzy polskimi górnikami mieszkającymi we Francji, a lotnikami Armii Polskiej odradzającej się we Francji pod dowództwem generała Sikorskiego.

Zapomnianą, wydaną 5 lat temu książkę „Zapomniany geniusz Lise Meitner – pierwsza dama fizyki jądrowej” przypomina Krzysztof Rzymkowski.

Marek Bielski w swoim felietonie – tym razem – napisał takie oto zdanie: „W świetle ostatnich niepowodzeń na polu dekarbonizacji gospodarki, przy ciągłych kłopotach z funkcjonowaniem energetyki konwencjonalnej i rosnących cen paliw, w tym oczywiście i gazu, nie branie pod uwagę ewidentnych atutów „ej” byłoby dowodem na prymat ideologii nad logiką”.

Laureat plebiscytu Przeglądu Technicznego o tytuł „Złotego Inżyniera” Jacek Bauriski napisał miły list do redakcji PTJ. Redakcja ponawia Panu Jackowi serdeczne gratulacje.

Na ostatnich stronach czasopisma publikujemy wspomnienie o zmarłym prof. Jerzym Peńsko.

Czytelnikom życząc spokojnych, wesołych Świąt Bożego Narodzenia i Szczęśliwego Nowego Roku! I oby przeminęły wszystkie fale koronawirusa!

Stanisław Latek,  
redaktor naczelny

# OBLICZENIA NEUTRONOWE REAKTORA AP1000

## Neutronic calculations of the AP1000 reactor

Szymon Suchcicki

**Streszczenie:** W artykule przedstawiono opis obliczeń neutronowych przeprowadzonych w Państwowej Agencji Atomistyki dla reaktora AP1000. Zaprezentowano krótką charakterystykę tego reaktora, opisano zastosowane kody obliczeniowe oraz przedstawiono wyniki obliczeń i ich porównanie z wynikami zawartymi w amerykańskim raporcie „AP1000 Design Control Document”. Przedstawiono również plany dalszego wykorzystania stworzonych modeli obliczeniowych.

**Abstract:** The paper presents a description of neutronic calculations for the AP1000 reactor performed at the National Atomic Energy Agency of the Republic of Poland (PAA). A short characteristic of the reactor is presented, applied computer codes are described and results of the calculations and their comparison with results included in the "AP1000 Design Control Document" are presented. Plans for further use of the created computational models are also discussed.

**Słowa kluczowe:** AP1000, SCALE, PARCS, reaktor jądrowy, obliczenia neutronowe

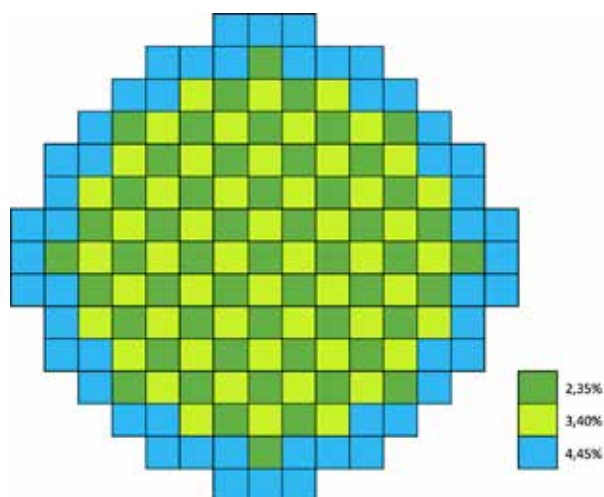
**Keywords:** AP1000, SCALE, PARCS, nuclear reactor, neutronic calculations

### 1. Wstęp

W ramach realizacji doktoratu wdrożeniowego, w Państwowej Agencji Atomistyki wykonano szereg obliczeń neutronowych dla kaset paliwowych oraz całego rdzenia reaktora jądrowego typu AP1000. Działania te są częścią większego procesu mającego na celu wykonanie symulacji awarii zachodzących w rdzeniu reaktora. Aby to zrealizować, niezbędne jest połączenie modelu reaktora wykonanego z zastosowaniem kodów SCALE i PARCS używanych do obliczeń neutronowych oraz modelu zbiornika ciśnieniowego reaktora stworzonego przy pomocy kodu TRACE przeznaczonego do obliczeń ciepłno-przepływowych. Wybrano reaktor typu AP1000, ponieważ jest to popularny w ostatnich latach reaktor generacji III+, którego dokumentacja jest publicznie dostępna w Internecie.

### 2. Charakterystyka reaktora AP1000

AP1000 to reaktor wodny ciśnieniowy firmy Westinghouse o mocy elektrycznej netto około 1100 MW, wyróżniający się pasywnymi układami bezpieczeństwa. W reaktorze tym paliwem jest wzbogacony  $UO_2$ , a funkcje moderatora i chłodziwa pełni lekka woda. Rdzeń reaktora składa się ze 157 kaset paliwowych, które zawierają paliwo o różnym wzbogaceniu w izotop U-235 – dla pierwszego cyklu (rozpoczętego w momencie pierwszego uruchomienia reaktora) wzbogacenie to wynosi od 2,35% do 4,45%. Na rys. 1 przedstawiono rdzeń reaktora podzielony na 3 obszary o różnym wzbogaceniu. Reaktor AP1000 jest zaprojektowany na 18-miesięczny cykl paliwowy, ze współ-



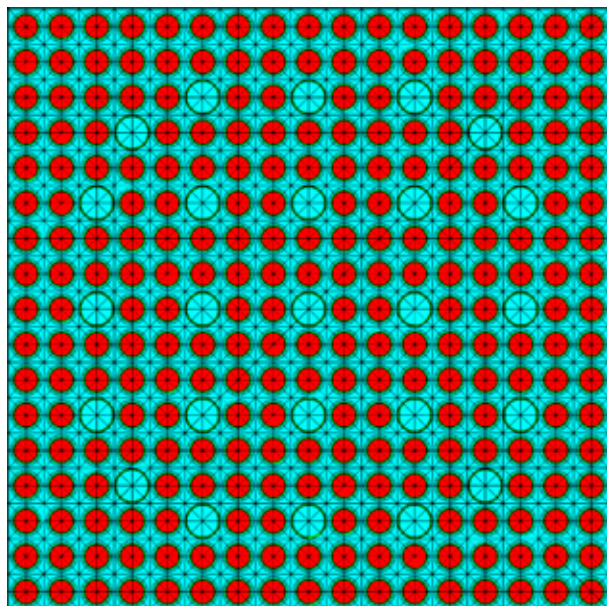
**Rys. 1.** Rdzeń reaktora AP1000 dla pierwszego cyklu (źródło: opr. własne)  
**Fig. 1.** AP1000 reactor core layout for the first cycle (source: own study)

czynnikiem wykorzystania mocy 93% i maksymalnym, uśrednionym dla pręta paliwowego, wypalaniem paliwa wynoszącym 60000 MWd/tU.

Każda kaseta paliwowa reaktora AP1000 zawiera siatkę kwadratową o wymiarach 17 x 17 elementów, z których 264 to pręty paliwowe, 24 to rury wiodące dla prętów regulacyjnych i 1 to rura oprzyrządowania. Na rys. 2 pokazano rozmieszczenie prętów paliwowych i innych elementów w kasie paliwowej.

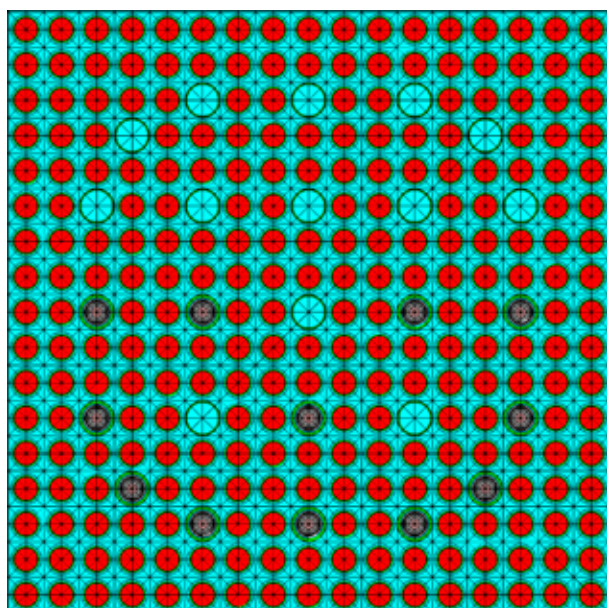
Część kaset zawiera, w różnych konfiguracjach, pręty paliwowe z wypalającą się trucizną w postaci cienkiej warstwy  $ZrB_2$  na powierzchni pastylek paliwowych (IFBA – Integral Fuel Burnable Absorber) oraz od-

dzielne pręty z wypalającą się trucizną w postaci szkła borokrzemianowego (Pyrex) umieszczane w rurach wiodących. Przykładowe rozmieszczenie prętów Pyrex w kasecie paliwowej przedstawiono na rys. 3.



Rys. 2. Rozmieszczenie prętów paliwowych i innych elementów w kasecie paliwowej (źródło: opr. własne)

Fig. 2. Arrangement of fuel rods and other elements in the fuel assembly (source: own study)



Rys. 3. Przykładowe rozmieszczenie 12 prętów Pyrex w kasecie paliwowej (źródło: opr. własne)

Fig. 3. Sample arrangement of 12 Pyrex rods in the fuel assembly (source: own study)

### 3. Narzędzia obliczeniowe

#### 3.1. System SCALE

System kodów SCALE został stworzony w Oak Ridge National Laboratory (ORNL). Jego nazwa jest skrótem od słów Standardized Computer Analyses for Licensing Evaluation. Program jest dość szeroko wykorzystywany na świecie, choć dostęp do niego podlega ograniczeniom.

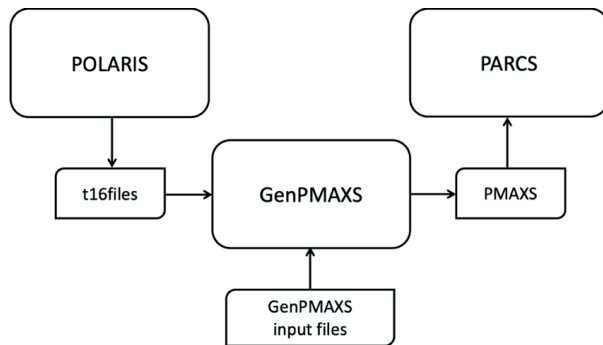
Program SCALE służy do przeprowadzania obliczeń m.in. współczynnika mnożenia neutronów, gęstości strumienia neutronów, kilkagrupowych przekrojów czynnych dla kaset paliwowych, składu izotopowego paliwa oraz aktywności produktów rozszczepienia w funkcji wypalania paliwa jądrowego.

SCALE ma budowę modułową [6]. Prawie każdy moduł jest zbudowany w oparciu o programy, które istniały jako oddzielne, samodzielne programy. Moduły są połączone i przy wykonywaniu obliczeń tworzą zautomatyzowaną sekwencję. Stosunkowo nowym kodem pakietu SCALE, wykorzystanym do obliczeń opisanych w tym artykule, jest POLARIS. Jest to zoptymalizowane narzędzie, które kontroluje obliczenia procesu wypalania paliwa i tworzy kilkagrupowe przekroje czynne dla kaset paliwowych, uwzględniające różne warunki pracy reaktora, niezbędne do obliczeń wykonywanych przy użyciu symulatorów pracy całego rdzenia reaktora, takich jak np. PARCS, NESTLE i SIMULATE5.

#### 3.2. Program PARCS

Program PARCS łączy w sobie obliczenia ciepło-przepływowe i rozwiązania równań neutronowych. Nazwa programu jest skrótem od Purdue Advanced Reactor Core Simulator. Wykorzystywany jest przez US NRC, inne dozory jądrowe na świecie oraz liczne laboratoria i uniwersytety pracujące w obszarze analiz bezpieczeństwa elektrowni jądrowych. Program [3] wykonuje obliczenia neutronowe i służy do przewidywania zachowania rdzenia dla stanów ustalonych i nieustalonych dla określonego wypalania paliwa. PARCS rozwiązuje równania transportu i dyfuzji neutronów w geometrii trójwymiarowej w celu określenia odpowiedzi reaktora na zmiany reaktywności spowodowane ruchem prętów regulacyjnych, zmianą koncentracji boru lub zmianą parametrów chłodziwa w rdzeniu reaktora. Kod PARCS jest przystosowany do reaktorów PWR i BWR z prostokątnymi i sześciokątnymi kasetami paliwowymi. Główne możliwości kodu PARCS to zdolność obliczania współczynnika mnożenia neutronów, stanów przejściowych reaktora, ciepła powyłaczeniowego, zawartości ksenonu i samaru oraz zdolność przeprowadzania obliczeń wypaleniowych. Do obliczeń program wymaga znajomości przekrojów czynnych dla danych warunków pracy reaktora i w związku z tym współpracuje z programami przy-

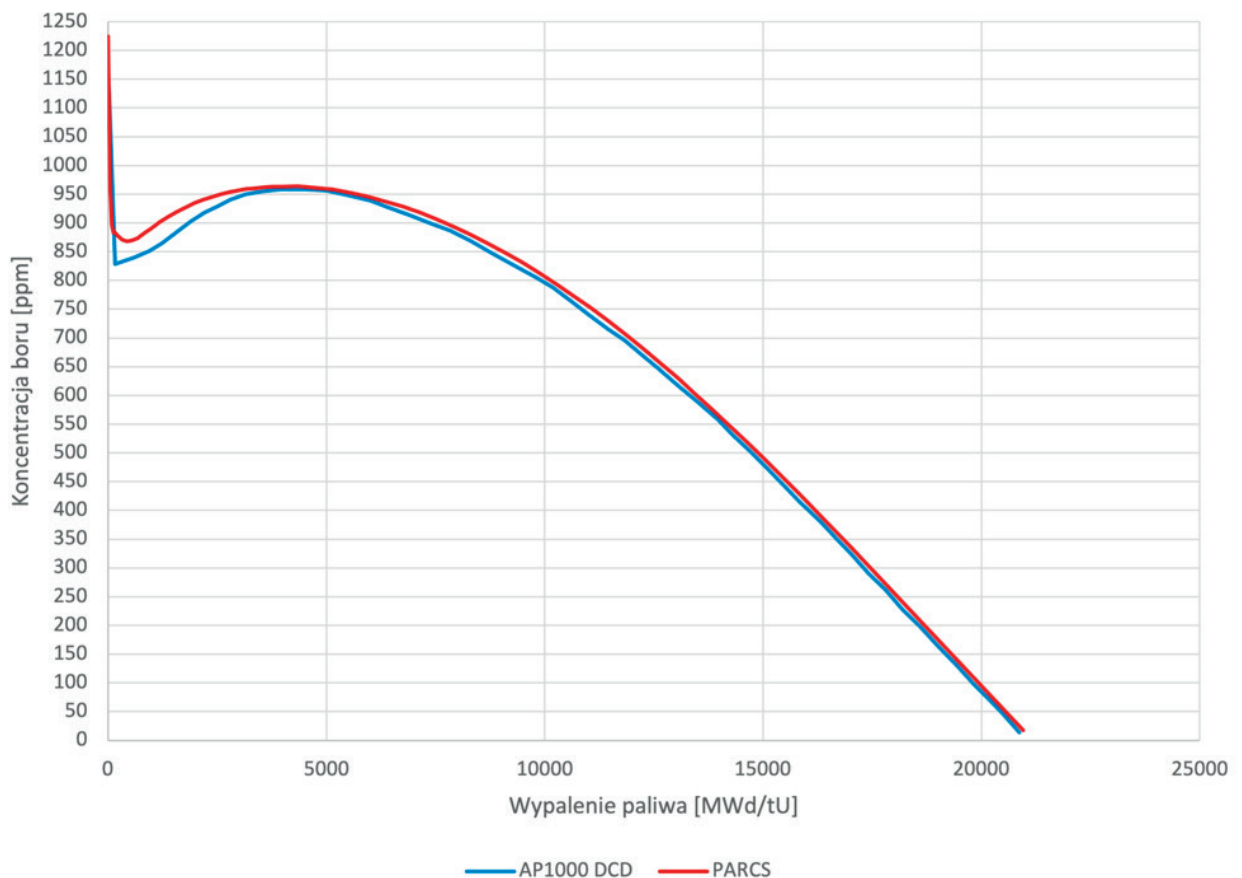
gotowującymi tego typu dane jak HELIOS, CASMO czy będące częścią pakietu SCALE kody TRITON i POLARIS. Ostatni z wymienionych kodów tworzy pliki kilkagrupowych przekrojów czynnych dla kaset paliwowych – t16, które trzeba następnie przekonwertować za pomocą programu GenPMAXS na pliki PMAXS, aby mogły być odczytane przez kod PARCS. Proces ten został schematycznie przedstawiony na rys. 4.



Rys. 4. Schemat generacji przekrojów czynnych (źródło: opr. własne)  
Fig. 4. Diagram of the generation of cross sections (source: own study)

#### 4. Opis obliczeń

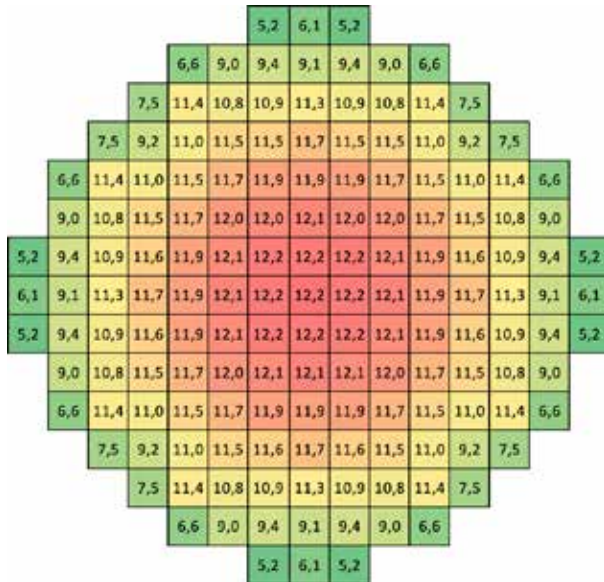
Pierwszym etapem pracy było przygotowanie dwuwymiarowych modeli wszystkich typów kaset paliwowych reaktora AP1000 oraz wykonanie obliczeń przekrojów czynnych dla tych kaset przy pomocy kodu POLARIS (SCALE). Dane wykorzystane do obliczeń pochodzą z publicznie dostępnego amerykańskiego raportu „AP1000 Design Control Document” [5]. Ze względu na skomplikowaną budowę kaset, różne wzbogacenie zawartego w nich paliwa i różną konfigurację prętów z truciznami wypalającymi (IFBA i Pyrex), zamodelowano 9 typów kaset paliwowych. Ponieważ modele tworzone na potrzeby generacji plików przekrojów czynnych z zastosowaniem kodu POLARIS są dwuwymiarowe, stworzono również dodatkowe modele, w celu uwzględnienia niejednorodności osiowej kaset, która wynika m.in. z faktu, że trucizny wypalające nie występują na całej długości (wysokości) kaset paliwowych. W modelach kaset uwzględniono zmienność parametrów istotnych dla pracy reaktora, takich jak obecność prętów regulacyjnych w kasecie, zawartość boru w moderatorze, gę-



Rys. 5. Zmiany koncentracji boru w moderatorze reaktora AP1000 (źródło: opr. własne)  
Fig. 5. Boron concentration changes in the AP1000 reactor moderator (source: own study)

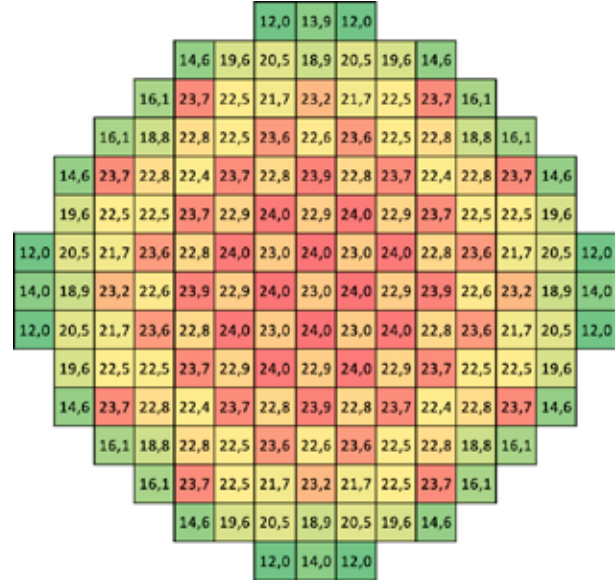
stość moderatora i temperaturę paliwa. Oprócz kaset paliwowych, zamodelowano również reflektor dolny, górny i promieniowy. W następnym etapie wykonano trójwymiarowy model całego rdzenia reaktora oraz wykonano obliczenia wypalenia za pomocą kodu PARCS. Model został stworzony dla tzw. pierwszego rdzenia, eksploatowanego podczas pierwszego cyklu paliwowego, ponieważ dokument [5] przedstawia

dane właśnie dla takiego cyklu. Obliczenia wykonano dla 530 dni pracy reaktora na mocy nominalnej (3400 MW termicznych), czyli dla około 18 miesięcy pracy, co odpowiada długości typowego cyklu paliwowego reaktora AP1000. Na rys. 5 pokazano wyniki obliczeń zmiany koncentracji boru w moderatorze reaktora w trakcie cyklu paliwowego. Wyniki porównano z danymi przedstawionymi w raporcie [5]. Na



Rys. 6. Mapa wypalenia rdzenia po 260 dniach pracy [GWd/tU] (źródło: opr. własne)

Fig. 6. Reactor core burnup map after 260 days of operation [GWd/tU] (source: own study)



Rys. 7. Mapa wypalenia rdzenia po 530 dniach pracy [GWd/tU] (źródło: opr. własne)

Fig. 7. Reactor core burnup map after 530 days of operation [GWd/tU] (source: own study)

1,277				
1,291				
1,159	1,270			
1,159	1,285			
1,264	1,145	1,244		
1,279	1,147	1,260		
1,137	1,241	1,109	1,179	
1,140	1,259	1,114	1,200	
1,237	1,107	1,184	1,023	0,861
1,258	1,112	1,206	1,028	0,868
1,148	1,148	1,014	1,012	0,653
1,153	1,167	1,015	1,030	0,632
0,958	0,915	0,818	0,572	
0,959	0,903	0,806	0,558	
0,600	0,498			
0,542	0,436			

wyniki obliczeń w ramach doktoratu  
wyniki z raportu AP1000 DCD

Rys. 8. Rozkład mocy dla 0 dni pracy (źródło: opr. własne)  
Fig. 8. Power distribution for 0 days of operation (source: own study)

1,076				
1,091				
1,155	1,075			
1,182	1,091			
1,075	1,153	1,074		
1,090	1,179	1,089		
1,147	1,071	1,145	1,059	
1,173	1,086	1,170	1,074	
1,057	1,132	1,064	1,104	0,907
1,069	1,154	1,077	1,123	0,908
1,097	1,016	1,088	1,161	0,786
1,104	1,023	1,096	1,170	0,745
0,873	0,968	0,948	0,713	
0,868	0,954	0,923	0,681	
0,646	0,559			
0,588	0,491			

wyniki obliczeń w ramach doktoratu  
wyniki z raportu AP1000 DCD

Rys. 9. Rozkład mocy dla 260 dni pracy (źródło: opr. własne)  
Fig. 9. Power distribution for 260 days of operation (source: own study)

0,969				
0,977				
1,074	0,973			
1,091	0,981			
0,977	1,084	0,985		
0,985	1,100	0,992		
1,094	0,990	1,100	0,993	
1,110	0,998	1,114	1,000	
1,002	1,111	1,008	1,088	0,895
1,012	1,128	1,014	1,099	0,890
1,120	1,010	1,104	1,147	0,821
1,137	1,023	1,111	1,143	0,774
0,957	1,100	1,014	0,774	
0,978	1,114	0,995	0,737	
0,822	0,708			
0,801	0,665			

wyniki obliczeń w ramach doktoratu

wyniki z raportu AP1000 DCD

Rys. 10. Rozkład mocy dla 530 dni pracy (źródło: opr. własne)  
Fig. 10. Power distribution for 530 days of operation (source: own study)

wykreście widać, że osiągnięto zadowalającą zbieżność wyników.

Na rys. 6 i 7 zaprezentowano dwuwymiarową mapę wypalenia rdzenia dla połowy cyklu i dla końca cyklu paliwowego. Największe wypalenie można zaobserwować dla kaset paliwowych znajdujących się bliżej środka rdzenia.

Na rys. 8-10 przedstawiono rozkład mocy względnej w rdzeniu reaktora dla początku, połowy oraz końca cyklu paliwowego. Ze względu na symetrię, rezultaty zaprezentowano dla 1/8 rdzenia. Na rysunkach porównano wyniki obliczeń wykonanych w ramach opisywanej w artykule pracy i wyników przedstawionych w raporcie [5]. Można zaobserwować, że rezultaty są podobne.

## Podsumowanie

Opisane w artykule obliczenia neutronowe reaktora AP1000 są istotną częścią analiz bezpieczeństwa. Wyniki tych obliczeń są zbliżone do rezultatów zaprezentowanych w amerykańskim raporcie [5], co potwierdza, że reaktor został prawidłowo zamodelowany, a kody obliczeniowe stosowane w Państwowej Agencji Atomistyki są odpowiednie do tego typu obliczeń. Z punktu widzenia dozoru jądrowego bardzo duże znaczenie ma możliwość przeprowadzania analiz wykorzystujących sprzężone kody neutronowe i ciepło-przepływowe. Opisane w niniejszym artykule modele obliczeniowe zostaną wykorzystane do symulacji awarii zachodzących w rdzeniu reaktora. Planowane jest bowiem połączenie ich z modelem zbiornika ciśnieniowego reaktora AP1000 stworzonym za pomocą kodu TRACE i przeprowadzenie sprzężonych symulacji neutronowych i ciepło-przepływowych. Połączenie tych dwóch rodzajów kodów daje dokładniejszy obraz przebiegu awarii, w których istotny wpływ ma kinetyka reaktora.

*mgr inż. Szymon Suchcicki,  
Państwowa Agencja Atomistyki,  
Szkoła Doktorska nr 4 Politechniki Warszawskiej,  
Warszawa*

## Literatura:

- [1] Bousbia-Salah A., D'Auria F., *Sensitivity Analyses of the Peach Bottom Turbine Trip 2 Experiment*, International Conference - Nuclear Energy for New Europe, Portoroz, September 2003.
- [2] Elsawi M. A., Hraiz A. S., *Benchmarking of the WIMS9/PARCS/TRACE code system for neutronic calculations of the Westinghouse AP1000™ reactor*, Nuclear Engineering and Design, Volume 293, November 2015, Pages 249-257.
- [3] Downar T., Xu Y., Seker V., Hudson N., *PARCS v3.0*, Theory Manual, 2012.
- [4] Kozłowski T., Miller R.M., Downar T.J., Barber D.A., Joo H.G., *Consistent Comparison of the Codes RELAP5/PARCS and TRAC-M/PARCS for the OECD MSLB Coupled Code Benchmark*, Nuclear Technology, VOL. 146, April 2004.
- [5] *Westinghouse AP1000 Design Control Document*. (<https://www.nrc.gov/docs/ML1117/ML11171A500.html>).
- [6] Wieselquist W. A., Lefebvre R. A., Jessee M. A., Eds., *SCALE Code System*, ORNL/TM-2005/39, Version 6.2.4, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN (2020).



# JAK ZREALIZOWAĆ PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ (PPEJ)

## How to implement the Polish Nuclear Power Program (PPEJ)

Dariusz Witold Kulczyński

**Streszczenie:** W artykule porównano wersje 2020 i 2014 Programu Polskiej Energetyki Jądrowej i przedstawiono krótką charakterystykę reaktora AP1000. Podano źródła informacji, które mogą być pomocne przy ocenie generalnego wykonawcy, poddostawców i przy formułowaniu kontraktu. Wyliczono potencjalne zagrożenia w okresie budowy, rozruchu i eksploatacji elektrowni jądrowej ilustrując je przykładami opartymi na doświadczeniach autora. Podkreślono znaczenie przejrzystości harmonogramów (PERT). Omówiono cechy dobrze zorganizowanej dokumentacji i szkolenia oraz przedstawiono przykłady właściwie i niewłaściwie realizowanych przedsięwzięć. Podkreślono znaczenie stabilności struktur organizacyjnych. Zasugerowano zorganizowane przekazywanie wiedzy opartej na doświadczeniu zawodowym przez starsze pokolenia polskich specjalistów.

**Abstract:** The article briefly discusses the differences between the Polish Nuclear Power Programme update of 2020 and its 2014 version. A short characteristic of the AP1000 reactor was provided. Sources of information helpful in the assessment of the main contractor and subcontractors were listed. The importance of precision in contract language was stressed. Potential threats to the successful implementation of nuclear power were enumerated and illustrated by the author's own experience. The importance of easily readable work plans (PERT) was stressed. The author discussed some features of well-organized documentation and training. Examples of well-run and poorly run projects were offered. Warning against unnecessary reorganization of nuclear business was presented. The orderly transfer of knowledge of the Baby Boomer generation of Polish ex-pats employed in the nuclear industry was suggested.

**Słowa kluczowe:** PWR, AP1000, HUALONG ONE, AP1400, Westinghouse, CANDU®, PHWR, ASME Section III, PERT, Darlington, TRF, ABB, AECL, Ontario Hydro, OPG, BBC, Boeing, Davis-Besse, bor

**Keywords:** PWR, AP1000, HUALONG ONE, AP1400, Westinghouse, CANDU®, PHWR, ASME Section III, PERT, Darlington, TRF, ABB, AECL, Ontario Hydro, OPG, BBC, Boeing, Davis-Besse, Boron

### Nowy i stary Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ)

Polityka Unii Europejskiej wymaga od krajów członkowskich drastycznej redukcji emisji dwutlenku węgla. Jedynym praktycznym sposobem, aby to osiągnąć, jest wybudowanie odpowiedniej ilości bloków jądrowych. Tylko to może zapewnić utrzymanie bezpieczeństwa energetycznego Polski po wycofaniu z eksploatacji elektrowni węglowych.

Uchwała Rady Ministrów Nr 141 z 2 października 2020 r. zaktualizowała Program Polskiej Energetyki Jądrowej. Zakłada on uruchomienie w Polsce dwóch elektrowni jądrowych, po 3 bloki każda, o łącznej mocy pomiędzy 6000 a 9000 MWe. Pierwszy blok ma być uruchomiony w 2032 r., a ostatni (szósty) w roku 2042.

PPEJ wersja 2020 ogranicza rodzaj technologii jądrowych do dużych bloków opartych na ciśnieniowych reaktorach lekkowodnych (PWR). Zakres postulowanej mocy obu elektrowni od 6 do 9 GWe zakłada możliwość wyboru AP1000 Westinghouse'a, francuskiego EPR, jak również chińskich lub południowo-koreańskich reaktorów (HUALONG ONE lub AP1400) <sup>1</sup>.

Program Polskiej Energetyki Jądrowej 2020 ma 69 stron w stosunku do 152 stron programu zatwierdzonego w styczniu 2014 r. Jest bardziej zwięzły, wytycza kierunek: PWR, nie BWR czy PHWR (CANDU), ale w stosunku do planów z 2014 r. przesuwą znacznie datę rozruchu pierwszego bloku jądrowego. Dla przypomnienia PPEJ 2014 zakładał 6000 MWe mocy jądrowej do roku 2035, z czego pierwszy blok miał pracować już w 2025 r. PPEJ 2014 podawał obszerną listę różnych lokalizacji sporządzaną od lat osiemdziesiątych. Najlepszą lokalizacją dla elektrowni jądrowej był Żarnowiec (65,5 na 70 możliwych punktów). Następna w kolejności była niezbyt odległa od Żarnowca miejscowość Lubiatowo-Kopalino w gminie Choczewo z wynikiem 51 na 70.

Według załącznika Nr 1 (harmonogram) do PPEJ 2020 już w 2022 r. ma nastąpić zatwierdzenie lokalizacji dla pierwszej elektrowni jądrowej, a dla drugiej w roku 2028.

### Jaki reaktor

Do końca 2021 r. ma nastąpić wybór reaktora. Ponieważ Polska podpisała wieloletnią umowę o współpra-

cy w dziedzinie energetyki jądrowej z USA, najbardziej prawdopodobny jest blok Westinghouse'a AP1000. Jego planowana moc netto wynosi 1117 MWe. Ilościowo pasuje on dobrze do całkowitej mocy przyłączonej do polskiej sieci elektroenergetycznej.

W stosunku do wcześniejszych modeli Westinghouse'a AP1000 posiada wiele zalet: o jedną trzecią mniej pomp, o połowę mniej zaworów mających wpływ na bezpieczeństwo ruchu, aż 80% mniej rurociągów o podobnym znaczeniu i o 85% mniej kabli sterowniczych. Wreszcie, objętość budynków sejsmicznie kwalifikowanych dla AP1000 jest o 45% mniejsza. Awaryjne chłodzenie rdzenia ma system tzw. „pasywny”, czyli woda spływa do rdzenia ze zbiornika umieszczonego nad reaktorem w wyniku grawitacji. Po 72 godzinach zbiornik trzeba napełniać wodą. System posiada zawory, które nie wymagają sprężonego powietrza ani napędu hydraulicznego, a wyłącznie zasilania prądem stałym. Należy jednak zdawać sobie sprawę, że konstrukcja AP1000 jest dynamiczna. Kolejne wersje Dokumentu Projektowego AP1000 (Westinghouse Design Control Document) podlegają kontroli przez amerykańską agencję bezpieczeństwa jądrowego (NRC)<sup>13</sup>.

### Rzeczywiste możliwości partnera strategicznego i poddostawców

Przemysł jądrowy bardzo źle znosi wieloletnie przerwy w zamówieniach na nowe obiekty. Wprowadzenie dodatkowych zabezpieczeń reaktorów po awariach w Czarnobylu i w Fukushima podniosło koszt energii jądrowej. W połączeniu z anty-nuklearnymi nastrojami społeczeństwa wiele państw, prowincji i stanów zrezygnowało z nowych elektrowni. W rezultacie firmy zwalniały personel, a niektóre nawet ogłosiły bankructwo. Nadal jednak prezentują bardzo optymistyczny obraz ich możliwości w dokumentach marketingowych. Podstawowe pytanie powinno dotyczyć budów/rozruchów bloków jądrowych w ostatnim pięcioleciu na obszarze podstawowym działania firmy. Westinghouse'a należy więc zapytać o przedsięwzięcia zrealizowane w USA<sup>4</sup>.

Pomocą w ocenie realnych możliwości firm może być doświadczenie Polaków, którzy przez dziesięciolecie zajmowali się realizacją wielkich przedsięwzięć budowlanych i rozruchem

elektrowni jądrowych. Przebywający od kilku lat na emeryturze, lecz wciąż aktywny zawodowo, inż. Jerzy Parkitny<sup>1</sup> był kierownikiem działów inżynierii sprzętu i systemów (*Manager Equipment & Products Engineering*) w państwowej firmie AECL<sup>2</sup>. Po jej prywatyzacji pracował w Candu Energy Inc. Mgr inż. Jerzy Parkitny, absolwent Wydziału Mechaniczno-Energetycznego Politechniki Śląskiej, zaczynał karierę zawodową od projektowania urządzeń obiegu pierwotnego dla Żarnowca. W Kanadzie kierował przygotowaniem specyfikacji najważniejszych urządzeń jądrowych dla elektrowni CANDU 6 Cernavoda 2 w Rumunii. Prowadził nadzór ich budowy, instalacji i rozruchu. Był również zaangażowany w operację wymiany wytwornic pary bloku CANDU 6 w elektrowni Embalse w Argentynie. Zajmował stanowiska kierownicze na prestiżowych budowach reaktorów CANDU-6 Wolsong 2,3 & 4 w Korei Południowej i w Qinshan Phase III (blok 1 & 2) w Chinach. Te budowy zakończono przed terminem i wydatkowano mniej środków, niż planowano.

Kluczem do sukcesu, jaki produkt AECL odniósł w Korei Płd., w Chinach i w Rumunii była pełna integracja oraz kontrola wszystkich elementów mega-projektu. Dotyczyło to specyfikacji technicznych, kontroli jakości produkcji oraz instalacji. Równie ważne były terminowe dostawy urządzeń produkowanych w różnych krajach. Transfer technologii do krajów, które budowały elektrownie CANDU był ważnym elementem tych kontraktów. Prowadzono bardzo dokładną kontrolę jakości produkowanych urządzeń. Dzięki doświadczonej kadry inżynierijno-technicznej oraz formalnemu systemowi przekazywania doświadczeń z budowy na budowę, bloki CANDU 6 były uruchamiane zgodnie z harmonogramem i kosztorysem. W ramach obowiązków służbowych inż. Jerzy Parkitny śledził także postęp technologiczny reaktorów typu PWR oraz BWR.

Wysoce niekompetentne rządy prowincji Ontario i władze federalne w Ottawie doprowadziły w 2013 r. do zaniechania budowy nowych elektrowni jądrowych.



Fot. 1. Elektrownia jądrowa Darlington bloki 2, 3 i 4 oraz wieża próżniowa lokalizacji awarii, (zezwoleń OPG 2007)

Photo. 1. DNGS units 2, 3, 4 and Vacuum Building (courtesy of OPG 2007)



**Fot. 2.** Maszynownia elektrowni jądrowej Darlington (zezwoleń OPG 2007)  
**Photo. 2.** Darlington turbine hall (courtesy of OPG 2007)

wych. Kanadyjska ekspertyza jądrowa ocalała dzięki remontowi kapitalnemu elektrowni Darlington (4 x 930 MWe brutto).

Wymiana 480 kanałów paliwowych bloku D2, połączona z wymianą niektórych innych urządzeń, została przeprowadzona terminowo i bez przekroczenia kosztów. Obecnie remontowany jest blok D3, a następnie D1 i D4. Jako ciekawostkę można wspomnieć, że wirnik do generatora BBC (1100 MVA) wykonano w Polsce (GE, d. Dolmel). Remonty kapitalne rozpoczną się niebawem także w elektrowni Bruce A i B. Ich 8 bloków łącznie stanowi największą pracującą elektrownię jądrową na świecie. Tego typu przedsięwzięcia wymagają wsparcia inżynierskiego oraz dobrze działającej sieci dostawców i poddostawców. Sukces remontu bloku D2 zademonstrował, że infrastruktura przemysłu jądrowego w Kanadzie jest sprawna.

### Wiedza do dyspozycji polskich władz i firm związanych z PPEJ

W grudniu 2006 r. autor spotkał się z drem Piotrem Naimskim, wówczas Podsekretarzem Stanu w Ministerstwie Gospodarki. Jedną z omawianych metod wdrażania polskiego programu jądrowego było wysyłanie grup polskich specjalistów z różnych dziedzin do pracy w elektrowniach jądrowych i przedsiębiorstwach towarzyszących. Nie chodziło o zwiedzanie obiektów tylko o wykonywanie zadań w ramach istniejących organizacji. W Kanadzie jest to znane pod nazwą „on the job training” (szkolenie przez pracę).

Warto zauważyć, że wszystkie obiekty jądrowe funkcjonują podobnie niezależnie od rodzaju technologii. Na przykład spawy w części jądrowej elektrowni muszą spełniać wymagania ASME Section III<sup>3</sup> i być wy-



**Fot. 3.** Symulator nastawni bloku D2 (zezwoleń OPG 2007)  
**Photo. 3.** Darlington D2 Control Room simulator (courtesy of OPG 2007)



**Fot. 4.** Minister Piotr Naimski i autor – Ministerstwo Gospodarki grudzień 2006 r.

**Photo. 4.** Minister Piotr Naimski and the author – Ministry of Economy December 2006



**Fot. 5.** Autor z żoną przed pierwszą elektrownią atomową w Kanadzie NPD NGS (1985)

**Photo. 5.** The author and his spouse in front of the first nuclear power plant in Canada NPD NGS, Rolphton ON (1985)



**Fot. 6.** Autor z gośćmi w nastawni -sterowni blokowej NPD NGS (1987)

**Photo. 6.** The author with the guests in the NPD NGS control room (1987)

konywane według odpowiednich instrukcji spawalniczych. W 1984 r., gdy autor pracował w elektrowni NPD NGS, instrukcja spawalnicza (*Ontario Hydro NPD NGS Welding Manual*) składała się z kilkunastu segregatorów zajmujących kilka półek biblioteczki. Były to bardzo przejrzyste dokumenty z rysunkami do selekcji elektrod i ich właściwego używania. Proces szkolenia kadr dla polskich elektrowni jądrowych należy zaplanować i wdrożyć jak najszybciej biorąc pod uwagę rotację pokoleń w czasie wieloletniej realizacji PPEJ.

Wspomniany poprzednio mgr inż. Jerzy Parkitny napisał w ubiegłym roku obszerny raport pt. *Westinghouse AP1000 Constructability Briefing*. Napisał go po angielsku, w języku powszechnie używanym w energetyce jądrowej i w negocjacjach kontraktowych. Raport inż. Parkitnego był recenzowany i uzupełniony przez inż. Edwarda C. Shyolskiego – emerytowanego

wiceprezesa Bechtel Corporation<sup>4</sup>. Kolejnymi recenzentami byli: dr inż. Stefan Doerffer – emerytowany kierownik działu Bezpieczeństwa i Zezwoleń w AECL (*Safety and Licesing Manager*), kiedyś wykładowca Politechniki Gdańskiej oraz dr inż. Maria (John) Pietralik – wysokiej rangi pracownik naukowy AECL (obecnie na emeryturze). W grudniu 2020 r. inż. Parkitny przesłał swój raport do Ministerstwa Klimatu oraz do instytucji związanych z PPEJ. Grupa rządowo-inżynierska realizująca polski program jądrowy powinna

mieć wiarygodny obraz potencjału rodzimego przemysłu oraz możliwości partnera strategicznego.

### Sukces i przeszkody w realizacji PPEJ

Elektrownia jądrowa powinna pracować pełną mocą przez 24 godziny na dobę, 365 dni w roku, czyli osiągać stuprocentowy współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej (*capacity factor*). Jeżeli blok nie pracuje, bo jest nadal w budowie albo jest odstawiony z powodu uszkodzenia sprzętu czy braku personelu, wtedy oczywiście wyżej wymieniony współczynnik jest równy zeru.

Terminowe oddanie bloku do eksploatacji, bezawaryjne i bezpieczne prowadzenie ruchu i wymagana ilość odpowiednio wykwalifikowanego personelu to

przepis na sukces. Niektóre zagrożenia w jego osiągnięciu wymienione są poniżej:

1. Nieprecyzyjnie spisany kontrakt (kontrakty),
2. Niekompletna, nieczytelna lub wadliwa dokumentacja projektowa lub wykonawcza,
3. Niekompetentny lub źle nadzorowany generalny wykonawca,
4. Niekompetentny lub źle nadzorowany dostawca (poddostawca) sprzętu,
5. Nieterminowe dostawy,
6. Niekompetentny lub źle nadzorowany personel budowlany,
7. Brak odpowiednio przeszkolonego personelu eksploatacyjnego, remontowego i inżynierskiego,
8. Nieprzewidziane problemy przy rozruchu,
9. Brak zaplecza naukowo badawczego wspierającego eksploatację elektrowni jądrowej,
10. Awarie w trakcie eksploatacji,
11. Zmiany struktury organizacyjnej,
12. Zawieszenie zezwolenia na eksploatację elektrowni jądrowej w wyniku poważnej awarii lub emisji materiałów radioaktywnych.

Podczas 33 lat pracy w kanadyjskich elektrowniach jądrowych autor artykułu pomyślnie zrealizował szereg przedsięwzięć. Jednym z nich była wymiana komputerów generujących informacje na ekranach operatora (interfejs) i komputerów sterowniczych instalacji usuwania trytu TRF<sup>5</sup>. Dostawca komputerów i dokumentacji projektowej (Bailey/ABB), który zbyt optymistycznie wycenił swoje usługi, usiłował uniknąć zaprojektowania kluczowych połączeń elektrycznych. Chodziło o podłączenie do komputerów sterowniczych wejść z czujników i wyjść do sterowników zaworów, pomp i kompresorów; w sumie około 6 tysięcy sygnałów. ABB chciało pozostawić połączenia pomiędzy listwami zaciskowymi kabli i zaciskami komputerów do wykonania przez Ontario Hydro/OPG<sup>15</sup>. Spowodowałyby to kolosalne opóźnienia w ponownym uruchomieniu instalacji koniecznej do pracy całej elektrowni 4 x 930 MW. Na szczęście dla Ontario Hydro (i oczywiście dla autora tego artykułu odpowiedzialnego za projekt) kontrakt z ABB zawierał precyzyjne sformułowanie, że połączenia „na lewo od listew zaciskowych kabli do zacisków komputerów” mają być zaprojektowane przez dostawcę.

Niesłychanie ważna jest przejrzystość i precyzja dokumentacji. Elektrownie CANDU posiadają system identyfikacji systemów i struktur umożliwiający określenie przynależności nawet tak małych elementów, jak śruby. Pięciodziesięciodziesiąt SCI<sup>8</sup> lub USI można rozszerzać i dodawać za pomocą myślnika do symboli alfanumerycznych takich jak P1 (pompa numer 1). I tak ciąg cyfr 33100 opisuje główny obwód chłodzenia pierwotnego, 33110 to wytwornice pary (*Steam Generators*), a 40005 oznacza główny system parowy

turbiny. Komputery instalacji usuwania trytu TRF mają SCI 69791.

System SCI/USI świetnie zdaje egzamin w dokumentacji projektowej, wykonawczej i ruchowej (tzw. *flowsheets*) elektrowni systemu CANDU. Warto zażądać, aby podobnie uniwersalny system znakowania układów i sprzętu został przyjęty w dokumentacji polskich elektrowni jądrowych.

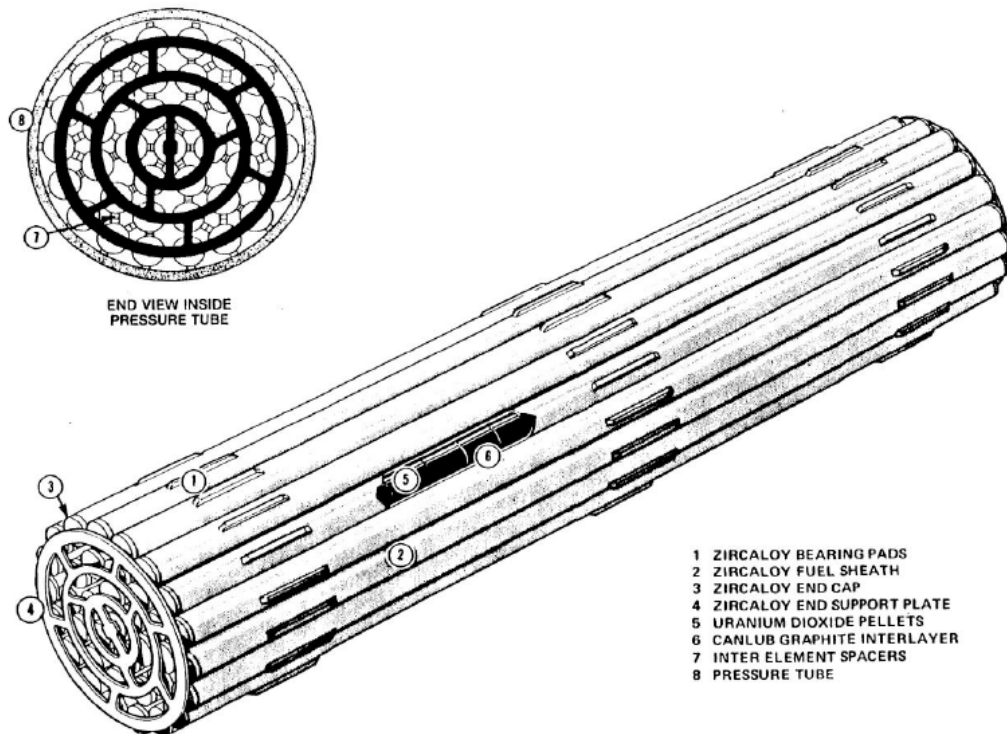
Zezwolenie na eksploatację elektrowni jądrowej (*Operating License*) zakłada dostateczną ilość personelu ruchowego, remontowego i inżynierskiego. Jeżeli z jakichś powodów stan załogi nie spełnia tych wymogów (*less than minimum Staff complement*) urząd regulacyjny może zawiesić zezwolenie na prowadzenie ruchu bloku jądrowego i nakazać jego odstawienie. Dlatego konieczny jest dobrze funkcjonujący program szkolenia bieżącego i autoryzacji personelu. W Ontario Pierwsi Operatorzy i Inżynierowie Dyżurni Ruchu muszą zdać szereg egzaminów państwowych, także tych praktycznych z użyciem symulatora nastawni blokowej. Z doświadczenia 33 lat, najlepszy system szkolenia to zajęcia w klasach pod kierunkiem instruktorów. Autor ma duże zastrzeżenia do indywidualnych kursów komputerowych CBT<sup>6</sup>. Jest to szczególnie nieskuteczne przy nauce ochrony radiologicznej.

Mniejsze i większe problemy przy rozruchu należy przewidywać i harmonogram prac musi zawierać planowanie awaryjne (*contingency planning*). Konieczne jest wsparcie specjalistycznego zaplecza inżyniersko-naukowego.

Podczas rozruchu elektrowni Darlington zaobserwowano pęknięcia uzwojeń wirników generatorów synchronicznych. BBC musiało zmienić konstrukcję rotorów i dostarczyć pięć nowych (po jednym na każdy blok i jeden zapasowy).

Wkrótce po uruchomieniu bloku D2 (15 stycznia 1990 r.), zaobserwowano poważną awarię w części jądrowej elektrowni. Pękały talerze wsporcze wiązek paliwowych (*fuel bundles*). Rozpadająca się wiązka jest rzeczą niedopuszczalną, gdyż może uszkodzić maszyny przeładownicze (*Fuelling Machines*) lub kanał reaktora (*Pressure Tube*), a nawet spowodować skażenie środowiska. Przyczyną pęknięcia wiązek paliwowych był rezonans przy częstotliwości około 150 Hz; wynik pulsacji pięcio-łopatkowych pomp chłodzenia obiegu pierwotnego PHT<sup>7</sup>. Autor artykułu pracował przy systemie monitorowania wibracji końcówek kanałów reaktora. Zamówione zostały siedmio-łopatkowe wirniki pomp obiegu pierwotnego, co wyeliminowało problem rezonansu.

W latach 1990-1991 tj. podczas rozruchu bloków D2 i D1 Ontario Hydro było zintegrowaną firmą energetyczną (generatory, sieć, ośrodki badawcze i wsparcia inżynierskiego). Jednak zmiana konstrukcji wirników generatorów i pomp oznaczała potężne straty przesto-



Fot. 7. 37 elementowa wiązka paliwowa elektrowni jądrowej Darlington  
Photo. 7. 37 element Fuel Bundle DNGS

jowe. W przypadku nowego modelu reaktora, a takim były bloki w Darlington, nie wszystko można obliczyć i przewidzieć wcześniej. W kolejnych latach pracy elektrownia Jądrowa Darlington osiągnęła najwyższy stopień w rankingu INPO<sup>14</sup>, a we wrześniu 2020 r. blok D1 przepracował bez wyłączenia 962 dni, ustanawiając światowy rekord ciągłej pracy.

Dokumentacja budowlano-montażowa i harmonogramy muszą być kompletne i przejrzyste żeby zapewnić planowe oddanie bloku do eksploatacji. Jednak każde odstawienie bloku, planowe czy awaryjne, powoduje poniekąd powtórzenie budowy i rozruchu tylko w dużo mniejszej skali. Wielkie budowy okresu przed komputerowego pomyślnie realizowano na podstawie schematów PERT<sup>9</sup>. Wykonawcy i koordynator widzą od razu, co musi być wykonane najpierw, co można robić równolegle i jaka jest ścieżka krytyczna. Metodologia ta ma zastosowanie podczas budowy, remontu, eliminacji awarii i przy rozruchu. Współczesne komputery umożliwiają wizualizację wielowymiarowych systemów. Istnieją programy, które mogą generować przejrzyste schematy PERT i prezentować je, jako drobne części skomplikowanej całości. Takie „narzędzia” planowania i zarządzania są wymienione we wspomnianym raporcie inż. J. Parkitnego.

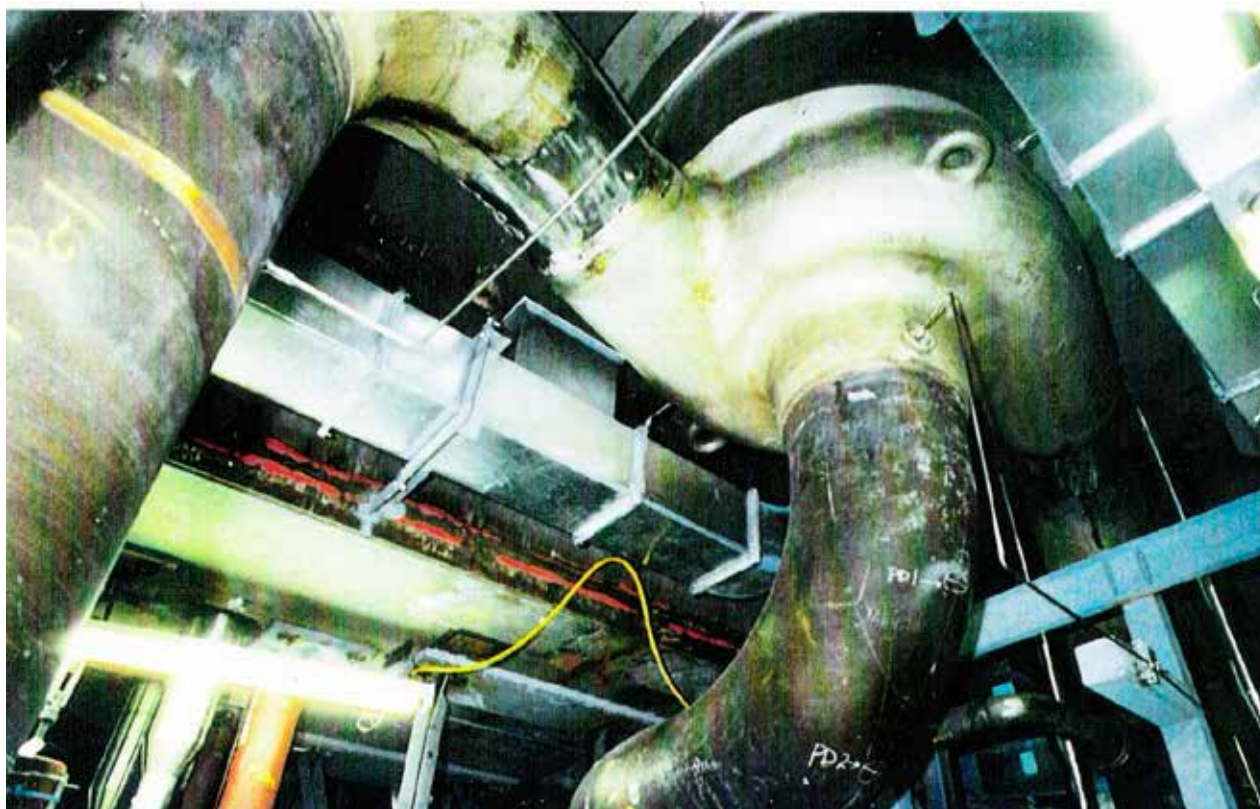
Struktura organizacyjna polskiej elektrowni jądrowej i zaplecza naukowo-badawczego musi być dobrze przemyślana. Warto przyjąć funkcjonalne schematy polskiej energetyki konwencjonalnej i uzupełnić

je o część jądrową według dobrych wzorów. Należy przy tym pamiętać, że każda struktura organizacyjna będzie działać pod warunkiem, że jest obsadzona kompetentnymi ludźmi, którzy wiedzą, co mają robić. Jedyną racjonalną reorganizacją jest przekształcanie ekip rozruchowych (*commissioning personel*) w sekcje techniczne, ruchowe i remontowe po synchronizacji bloku.

Konsultanci różnych firm doradczych, obiecując optymalizację funkcjonujących już struktur organizacyjnych, nie powinni mieć dostępu do polskiej energetyki jądrowej. Liczne doświadczenia z kontynentu północno-amerykańskiego dowodzą, że „konsultanci-cudotwórcy” wprowadzają chaos i powodują wielomiliardowe straty, jednocześnie inkasując ogromne sumy za wyrządzone szkody.

Autor artykułu uczestniczył w licznych kursach doskonalenia zawodowego. Niektóre dotyczyły realizacji inwestycji, inne eksploatacji obiektów jądrowych.

Przykładem pozytywnym realizacji dużego przedsięwzięcia była organizacja Igrzysk Olimpijskich w Londynie w 2012 r. Wszystko wykonano na czas i w ramach budżetu. Za przykład negatywny może służyć zaprojektowanie i produkcja Boeinga 787 (*Dreamliner'a*). Biura konstrukcyjne i fabryki poszczególnych podzespołów rozsiane były po całym świecie. Wystąpiły znaczne opóźnienia, przekroczenie kosztów i usterki w produkcie końcowym. Przyczynami niepowodzeń były: brak odpowiedniej łączności mię-



Fot. 8. Pompa (jedna z czterech) chłodzenia obiegu pierwotnego bloku D2 (zezwolenie OPG 2007)  
 Photo. 8. Darlington D2 PHT Pump (1 of 4) – courtesy of OPG 2007

dzy projektantami i wykonawcami, różnice czasowe dzielące siedziby poszczególnych grup, a także różnice językowe i kulturowe.

Eksploatacja elektrowni jądrowej *Davis-Besse* (894 MW PWR) w Ohio stanowi „podręcznikowy” przykład złego zarządzania. Należący do firmy *First Energy* blok miał zresztą bardzo dobre wyniki, jeśli chodzi o współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej. Natomiast przeglądy podczas postoju reaktora były przeprowadzane bardzo powierzchownie. Nie zauważono chronicznego wycieku zanieczyszczonej borem wody z pręta sterowniczego (*Control Rod*). Do marca 2002 r. w głowicy (pokrywie) naczynia ciśnieniowego reaktora, wykonanej ze stali węglowej, powstało wskutek korozji wgłębienie o głębokości 150 mm o kształcie i wielkości piłki do Rugby. Ciśnienie w reaktorze (17 MPa) było utrzymywane przez wkładkę ze stali nierdzewnej o grubości zaledwie 9,5 mm. Blok 1 zbliżył się do potężnej awarii utraty chłodziwa (LOCA<sup>10</sup>). Amerykański Urząd Regulacyjny NRC nakazał odstąpienie bloku, który uruchomiono dopiero w marcu 2004 r., czyli po dwóch latach<sup>11</sup>. Firma *First Energy* musiała także zapłacić wielomilionowe kary. Powyższy przykład dotyczy lekkowodnego reaktora ciśnieniowego, czyli systemu jądrowego wybranego przez Polskę.

W reaktorach CANDU nie używa się boru ani gadolinu w pierwotnym (ciśnieniowym) obiegu chłodzenia.

Gadolin jest stosowany wyłącznie w pozostającym pod ciśnieniem atmosferycznym obiegu moderatora. Ma to miejsce przez kilka miesięcy po pierwszym uruchomieniu bloku wypełnionego świeżym paliwem oraz podczas gwarantowanego odstąpienia bloku. Reaktory PWR stosują pochłaniacze neutronów takie jak bor podczas normalnej pracy.

Realizując PPEJ, należy wybrać dobry reaktor, przygotować jego wyczerpującą i przejrzystą dokumentację, zapewnić wysoką jakość i terminowość dostaw wszystkich komponentów, prowadzić montaż urządzeń zgodnie z wymaganiami jakości i według harmonogramu oraz terminowo przeszkolić personel do obsadzenia funkcjonalnej struktury organizacyjnej. Po uruchomieniu bloku należy rygorystycznie przestrzegać zasad bezpiecznej eksploatacji i inspekcji. System planowania w elektrowni musi być przygotowany na nieprzewidziane usterki czy awarie i wspierać ich sprawną eliminację. W strukturze organizacyjnej musi być miejsce dla działu usług inżynieryjno-badawczych.

#### Testament *Baby Boomers*<sup>12</sup>

Emigranci lat 80. odchodzą już na emeryturę, jeżeli nie na ten „lepszy świat”. Fala emigracji, słusznie czy niesłusznie nazywana „solidarnościową”, otrzy-

mała często uprzywilejowane traktowanie w krajach osiedlenia ze względu na polskie „pięć minut w historii świata”. Wiązało się to z zatrudnieniem w dobrych firmach, w tym w kanadyjskim sektorze jądrowym. Byłoby wysoce wskazane, gdyby odchodzące pokolenia związane z atomistyką i energetyką po obu stronach Atlantyku spróbowały wspólnie sformułować sposób przekazania wiedzy – *knowledge transfer* – pokoleniom, które będą realizować PPEJ. Chodzi o wiedzę praktyczną, którą zdobywa się w ciągu kilkudziesięciu lat pracy, tzw. „*lessons learned*” (uczenie się na błędach). Osoby, które wyemigrowały w wieku dojrzałym, czują się dużo bardziej związane z Polską niż ich dzieci czy wnuki. Sukces Programu Polskiej Energetyki Jądrowej jest sprawą o narodowym formacie niezależnie od podziałów politycznych.

Dariusz Witold Kulczyński, P. Eng.,  
Kanada

*Autor artykułu jest absolwentem Liceum Reytana i Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej. Do lutego 2015 r., był pracownikiem wydziału usług inżynierskich elektrowni jądrowej Darlington 4 x 930 MW(e) brutto. W sekcjach technicznych kanadyjskich elektrowni jądrowych typu PHWR (inaczej CANDU) przepracował 33 lata.*

#### Literatura i odnośniki:

- [1] Korespondencja z Jerzym Parkitnym, P. Eng., kontakt: <https://www.linkedin.com/in/jerzyparkitny/>
- [2] AECL – *Atomic Energy of Canada Limited* – wynalazca i generalny projektant kanadyjskiego systemu jądrowego CANDU (PHWR). W laboratoriach AECL/CRNL (*Chalk River Nuclear Laboratories*) prowadzono badania w ramach projektu Manhattan. W Chalk River eksperymenty przeprowadzał także admirał Hyman (Chaim) Rickover urodzony w Makowie Mazowieckim „ojciec” amerykańskiej floty łodzi podwodnych o napędzie jądrowym. W Sali Pamięci ośrodka atomowego w Chalk River ON jest ściana wypełniona zdjęciami słynnych fizyków, w tym dwójga Polaków Marii Curie-Skłodowskiej i Leopolda Infelda. Ten ostatni w czasie wojny był współpracownikiem Einsteina i profesorem Fizyki na Uniwersytecie Torontońskim.
- [3] ASME Section III – część jądrowa zbioru przepisów organizacji technicznej ASME (American Society of Mechanical Engineers).
- [4] Edward Shyloski, <https://www.enr.com/articles/41869-what-went-wrong-on-the-westinghouse-nuclear-projects> data dostępu 29-03-2021
- [5] TRF – Tritium Removal Facility. Znajdująca się na terenie elektrowni Darlington instalacja usuwająca tryt z chłodziwa i moderatora reaktorów CANDU. TRF współpracuje z uzdatniaczem ciężkiej wody SU (Station Upgrader).
- [6] CBT – *Computer Based Training* – szkolenie indywidualne przy komputerze kończące się egzaminem typu *Multiple Choice Checkout* – czyli sprawdzianem gdzie wybiera się jedną z kilku możliwych odpowiedzi.
- [7] PHT Pumps; Primary Heat Transport Pumps. Pompy chłodzenia pierwotnego – po cztery na blok – miały 5 łopatek;  $5 \times (1800/60) = 150$  Hz (rps), gdzie 1800 RPM jest prędkością synchroniczną dla silników pomp. Silniki były asynchroniczne, więc występował poślizg zmniejszający nieco częstotliwość pulsacji.
- [8] *SCI System Classification Index* (wymawiany niezbyt prawidłowo, jako SKI), USI – *Uniform Subject Index*.
- [9] PERT – *Program Evaluation Review Technique*. Wykresy oparte o węzły (*nodes*) umożliwiające m. in. wyznaczenie ścieżki krytycznej (*Critical Path*).
- [10] LOCA – *Loss of Coolant Accident* – utrata chłodziwa grożąca stopieniem się rdzenia.
- [11] Davis-Besse [https://en.wikipedia.org/wiki/Davis%E2%80%93Besse\\_Nuclear\\_Power\\_Station](https://en.wikipedia.org/wiki/Davis%E2%80%93Besse_Nuclear_Power_Station) data dostępu 28-03-2021.
- [12] Baby Boomers – osoby urodzone w fali powojennego wyżu demograficznego w latach 1946 do 1964.
- [13] NRC – Nuclear Regulatory Commission, amerykańska, rządowa komisja regulacyjna przemysłu jądrowego.
- [14] INPO – Institute of Nuclear Power Operations – Atlanta, Georgia USA. Organizacja ta ustala kryteria, według których oceniana jest jakość pracy elektrowni jądrowych. INPO współpracuje ściśle z WANO (World Association of Nuclear Operators).
- [15] Ontario Hydro/OPG (Hydroelectric Power Commission of Ontario) – państwowa firma energetyczna w kanadyjskiej prowincji Ontario istniejąca od 1906 do 1999 r. Firma posiadała około 35 tys. megawatów mocy zainstalowanej w elektrowniach i łączącą je sieć przesyłową wysokiego napięcia. W 1999 r. Ontario Hydro zostało przekształcone w OPG (Ontario Power Generation Inc.). Sprywatyzowano elektrownię Bruce A i B (Bruce Power). Sieć oddzielono organizacyjnie od elektrowni, a następnie sprywatyzowano (Hydro One).
- [16] <https://en.wikipedia.org/wiki/AP1000> data dostępu 26-03-2021
- [17] [https://en.wikipedia.org/wiki/EPR\\_\(nuclear\\_reactor\)](https://en.wikipedia.org/wiki/EPR_(nuclear_reactor)) data dostępu 26-03-2021
- [18] [https://en.wikipedia.org/wiki/Hualong\\_One](https://en.wikipedia.org/wiki/Hualong_One) data dostępu 26-03-2021
- [19] <https://en.wikipedia.org/wiki/APR-1400> data dostępu 26-03-2021
- [20] Planning for a nuclear Poland, by D. Kulczyński, P. Eng. (Nuclear Engineering International, April 2014 [www.neimagazine.com](http://www.neimagazine.com)).
- [21] Kanadyjska Energetyka Jądrowa, autor D. Kulczyński, P. Eng., („Wiadomości Elektrotechniczne” 03-2008-ISSN 0043-5112).
- [22] Half a century of safe CANDU, by D. Kulczyński, P. Eng. Submission 8\_18\_1332207338, II Nuclear Energy Congress, Warsaw, May 2012.
- [23] Bezpieczeństwo nuklearne na II Kongresie Energii Jądrowej w Warszawie, autor D. Kulczyński, P. Eng. („Postępy Techniki Jądrowej” ISSN 0551-6846; PTJ VOL.57 Z.3 2012).



# KRYTERIA WYBORU DOSTAWCY REAKTORA DO POLSKIEJ ELEKTROWNI

## Reactor supplier for Polish nuclear power plant choice criteria

Krzysztof Rzymkowski

**Streszczenie:** W opracowaniu przedstawiono poza techniczne kryteria wyboru dostawcy reaktora dla polskiej elektrowni.

**Abstract:** The article present other than strictly technical choice criteria for choosing nuclear technology supplier.

**Słowa kluczowe:** dostawca, dostawca technologii kryteria wyboru

**Keywords:** technology supplier, technology provider, selection criteria

Ochrona klimatu i wymiana przestarzałych i wyeksploatowanych elektrowni węglowych spowodowała konieczność unowocześnienia całego polskiego systemu energetycznego, a zatem powrót do koncepcji budowy elektrowni jądrowych. Przygotowanie do rozpoczęcia budowy tego rodzaju obiektu trwają zwykle kilka lat. Pierwsza na świecie elektrownia jądrowa powstała w 1954 r. w Obnińsku (ZSRR) przy okazji realizacji wojskowego programu jądrowego. W Japonii, mimo, że była krajem, który bezpośrednio doświadczył ogromnej siły niszczącej energii jądrowej zdecydowano się w roku 1954 na rozpoczęcie wdrażania kompleksowego długoterminowego programu badań, rozwoju i wykorzystania energii jądrowej. Od roku 1955 wdrożono Japońskie prawo atomowe. W roku 1956 powołano Komisję Energii Atomowej, której zadaniem była realizacja opracowanego programu i promowanie energetyki jądrowej. Pierwszy energetyczny reaktor jądrowy importowany z Wielkiej Brytanii był uruchomiony w lipcu 1960 r. Po pomyślnym uruchomieniu pierwszego reaktora rozpoczęto budowę reaktorów lekkowodnych ciśnieniowych (PWR) i wrzących (BWR). Pierwsze trzy w pełni komercyjne reaktory uruchomiono w 1970 r. To tempo budowy elektrowni jądrowych utrzymywało się do katastrofy w Fukushima w roku 2011. Przykładem szybkiej realizacji budowy energetyki jądrowej są Emiraty Arabskie, które zakupiły w 2011 r. cztery reaktory lekkowodne w Korei Południowej. Budowę pierwszego rozpoczęto w 2012 r. i uruchomiono go w roku 2020. Kolejne będą sukcesywnie uruchamiane w następnych latach.

W Polsce ponownie jest planowana budowa elektrowni jądrowej. Historia polskiej energetyki jądrowej jest bardzo złożona. Początkowo w celu

koordynacji prac w zakresie techniki jądrowej prowadzonych w różnych resortach w 1956 r. powołano urząd Pełnomocnika Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej, który po wielu latach przekształcił się w Państwową Agencję Atomistyki. W latach siedemdziesiątych powstało polskie prawo atomowe. W roku 1971 Prezydium Rządu podjęło decyzję o budowie elektrowni jądrowej i w 1974 r. podpisano umowę o współpracy z ZSRR. Budowę pierwszych dwóch bloków (typu WWER-440) rozpoczęto w 1982 r. i przerwano w 1990 r. W 2005 r. powstał dokument *Polityka energetyczna Polski do 2025 roku*, w którym zapowiedziano dyskusję o budowie energetyki jądrowej. W 2009 r. powołano urząd pełnomocnika d/s budowy elektrowni jądrowej, którego obowiązki przejęło Ministerstwo Energii. Rozpoczęto prace nad wyborem lokalizacji i badań środowiskowych, których wyniki mają być przedstawione w 2021 r. Obecnie jesteśmy na wstępnym etapie wyboru dostawcy podstawowego elementu elektrowni tj. reaktora.

Ponieważ budowa elektrowni jądrowej jest strategiczną inwestycją dla bezpieczeństwa energetycznego państwa wybór odpowiedniej technologii budowy reaktora i jego dostawcy są niezwykle ważne. W przyjętym w roku 2014 *Programie Polskiej Energetyki Jądrowej* przedstawiono wstępne wymagania, jakie powinien spełniać dostawca reaktora. Podstawowym warunkiem, jest dojrzałość technologii i doświadczenia z budowy i eksploatacji bloków oferowanego typu. W celu obniżenia kosztów budowy i eksploatacji Światowy rynek energetyki jądrowej jest obecnie zdominowany przez wielkoskalowe bloki energetyczne wykorzystujące lekkowodne reaktory wodno-ciśnieniowe (PWR – Pres-

surized Water Reactor) o mocach elektrycznych rzędu 1000-1650 MW netto. Oferowane są nieliczne konstrukcje wykorzystujące reaktory wrzące (BWR – *Boiling Water Reactor*) lub ciężkowodne typu kanadyjskiej konstrukcji CANDU. W Europie przeważają reaktory PWR (jedynie w Rumuni wykorzystuje się technologię reaktorów CANDU). Wszystkie oferowane reaktory są nowoczesnymi konstrukcjami generacji III lub III<sup>+</sup> o zbliżonych parametrach. Oferentami są firmy Stanów Zjednoczonych, Korei Południowej, Francji, Rosji, Chin i rzadziej Japonii. Na rynku przeważają oferty firm Stanów Zjednoczonych proponujących wypróbowaną najstarszą konstrukcję reaktora AP-1000, Korei Południowej z reaktorem APR-1400, Francji – firma EDF z najnowocześniejszym reaktorem EPR o mocy 1650 MW, firma rosyjska Rosatom WWER-1200, oraz firmy chińskie (China General Nuclear Power Group (CGN) oraz China National Nuclear Corporation (CNNC) z reaktorem Hualong One) wchodzące agresywnie na rynek światowy. Japońskie firmy (głównie GE Hitachi - Mitsubishi, Toshiba – Westinghouse) są obecnie mało aktywne międzynarodowo, mimo że posiadają doświadczenie w budowie i eksploatacji. Wybór można zawęzić do trzech pierwszych oferentów. Chiny praktycznie są dopiero na początku drogi nie mogą pochwalić się dłuższą tradycją eksploatacyjną budowanych reaktorów. Propozycje rosyjskie są w Polsce niezwykle silnie obciążone katastrofą w elektrowni jądrowej w Czarnobylu i przez to nieakceptowalne społecznie, a także obciążone możliwością całkowitego uzależnienia krajowej energetyki od Rosji. Około 80% spalnego obecnie w Polsce w elektrowniach węgla pochodzi z importu rosyjskiego, skąd ponadto importujemy również ogromne ilości gazu. W obecnej sytuacji geopolitycznej przy wyborze dostawcy należy koniecznie uwzględnić jego potencjał atomowy – potężny rozwinięty przemysł jądrowy, by mieć dostęp do unowocześniania stosowanych technologii i by wykorzystywać własny wkład intelektualny we wspomaganie tego przemysłu. Pozwoliłoby to uchronić się przed uzależnieniem energetycznym kraju od jednego dostawcy źródeł energii, a na obecnym etapie utrudniłoby działanie zewnętrznym przeciwnikom naszej energetyki jądrowej.

Tak faktycznie do wyboru mamy trzy technologie reaktorów wodno-ciśnieniowych dużej mocy:

**AP – 1000** (AP – *Advanced Passive*) firmy Toshiba – Westinghouse ostatecznie zaakceptowany w Stanach Zjednoczonych przez (NRC – *Nuclear Regulatory Commission*) urząd dozoru jądrowego w 2011 r. Jest to reaktor o bardzo uproszczonej konstrukcji modułowej, w którym zrezygnowano ze zwielokrotniania systemów zabezpieczeń wykluczając techniczną możliwość stopienia rdzenia. Dwuścienna

obudowa bezpieczeństwa reaktora jest przystosowana tylko do pasywnego odbioru ciepła z reaktora. W przypadku awarii przestrzeń pomiędzy ścianami obudowy zalewana jest wodą ze zbiornika znajdującego się na górze obudowy. Uproszczona konstrukcja mogłaby przyspieszyć budowę.

**APR – 1400** (APR – (*Advanced Pressurised Reactor*)) oferowany przez firmę Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) jest reaktorem lekkowodnym zaprojektowanym przez Korea Electric Power Company (KEPCO), o mocy nominalnej 1340 MWe. Prace nad reaktorem rozpoczęto w 1990 r. Konstrukcja reaktora zapewnia bezpieczne działanie i prostą obsługę techniczną. Reaktor APR pojawił się na rynku światowym poprzez bardzo sprawną realizację zamówienia Emiratów Arabskich i bardzo konkurencyjną cenę. Reaktory te są podstawą energetyki jądrowej Korei Południowej. W 2017 r. APR uzyskał certyfikat EUR (*European Utility requirements*), a w roku 2018 certyfikat NRC.

**EPR – 1650** (EPR – *European Pressurised Reactor*) francuskiej firmy EdF (*Électricité de France*) działającej od roku 1947 i posiadające w Polsce swoje przedsiębiorstwa. Jest to reaktor o rozbudowanym systemie bezpieczeństwa, w którym można używać zarówno paliwo uranowe, jak i uranowo plutonowe (MOX Mixed Oxide), Paliwo. MOX powstaje z wykorzystaniem materiałów jądrowych pochodzących z recyklingu. W reaktorach III<sup>+</sup> zwiększono stopień wypalenia paliwa, a stosowanie paliwa MOX zmniejsza ilość odpadów radioaktywnych w całym cyklu paliwowym. Zaletą reaktorów EPR jest elastyczność regulacji mocy w zależności od obciążenia, W systemie bezpieczeństwa zastosowano kilka aktywnych i pasywnych środków zabezpieczających przed ewentualnymi wypadkami: cztery niezależne awaryjne systemy chłodzące (przy awaryjnym wyłączeniu reaktora), szczelna obudowa bezpieczeństwa systemów reaktora, specjalny zbiornik – chwytacz stopionego rdzenia z systemem chłodzenia, antyterrorystyczna konstrukcja budynku reaktora.

Wymaganie by przemysł jądrowy przyszłego kontrahenta był rozwinięty wiąże się ściśle z problemem wypalonego paliwa, którego nagromadzenie się po kilkunastu latach użytkowania elektrowni jądrowych jest znaczne. W cyklu paliwowym otwartym (wykorzystywanym w Stanach Zjednoczonych) paliwo jądrowe po wykorzystaniu nie jest przerabiane, a jest składowane w całości np. w wyrobiskach kopalń. W cyklu zamkniętym, w zakładach przerobu paliwa odzyskiwany jest uran i separowany jest pluton, reszta paliwa jest składowana, Zakłady przerobu

paliwa są zgodnie z umowami międzynarodowymi usytuowane wyłącznie w krajach posiadających broń jądrową i wyjątkowo na specjalnych warunkach w Japonii. Korea Południowa produkuje paliwo dla swojej energetyki sprowadzając uran z Kanady i Australii wzbogacany we Francji. W dłuższej perspektywie przemysł Korei nie jest dostatecznie rozwinięty. Wydaje się, że z tych względów należy szukać takiego dostawcy, który zapewniłby wszystkie potrzeby energetyki jądrowej, przy możliwie największym ograniczeniu kosztownych transportów materiałów jądrowych (wypalonego paliwa, odpadów po przerobie uranu wzbogaconego itd.).

Jednym z trudniejszych elementów wyboru dostawcy, który byłby jednocześnie współinwestorem, jest zdefiniowanie wspólnego modelu inwestycji dla tak długofalowego kontraktu zależnego od polityki, stanu gospodarki i inwestora krajowego. Zarysowane powyżej problemy mogłyby stanowić przedmiot dyskusji dotyczącej optymalnego wyboru dostawcy.

#### Podsumowanie – Kryteria wyboru dostawcy

Podsumowując w punktach kryteria wyboru potencjalnego dostawcy technologii bloków jądrowych dla polskiej energetyki wskazać można następujące, kluczowe zagadnienia:

**Dojrzałość technologii i jej powtarzalność,** możliwość dostosowania do europejskich wymagań, kodeksów, standardów i przyzwyczajzeń. Podstawową sprawą jest doświadczenie dostawcy w budowie jądrowych bloków energetycznych i elastyczność ich dostosowania do wymagań prawno-ekonomicznych Unii Europejskiej. Dojrzałość i powtarzalność technologii jest warunkiem uzyskania zdolności kredytowej dla sfinansowania projektu.

#### Doświadczenie polskich firm – poddostawców i lokalny łańcuch dostaw.

Polskie firmy budownictwa energetycznego dysponują dużym doświadczeniem w pracy na budowie obiektów energetyki jądrowej, wzmocnią zespół dostawcy technologii podstawowej zapewniając ograniczenie błędów i opóźnień.

#### Wiarygodność i doświadczenie dostawcy.

Zespół firm dostawców technologii bloków jądrowych powinien posiadać świeże doświadczenie zdobyte w podobnym środowisku. Dla Polski środowiskiem tym są kraje UE i bezpośrednie ich sąsiedztwo (np. Wielka Brytania).

**Możliwości szkoleniowe.** Niezwykle ważna jest możliwość zaoferowania przez dostawcę technologii szerokiego zakresu szkoleń niezbędnych przy budowie, uruchomieniach, eksploatacji i remontach bloków jądrowych z zapewnieniem odpowiednich standardów jakościowych właściwych dla tych obiektów.

**Zdolność partnera do zapewnienia pomocy i wsparcia właścicielowi-operatorowi bloków jądrowych** w celu zapewnienia bezpiecznej eksploatacji instalacji w perspektywie długoterminowej.

**Redukcja ryzyka z punktu widzenia finansowania i kredytowania projektu.** Powyższe uwagi są bezpośrednio związane z zapewnieniem projektowi odpowiedniej wiarygodności i solidności, co pozwoli na łatwiejsze pozyskanie potencjalnych pożyczkodawców i inwestorów.

**Trudność wyboru dostawcy, który byłby jednocześnie współinwestorem,** jest związana z określeniem modelu inwestycji dla długofalowego kontraktu zależnego od polityki, stanu gospodarki i inwestora krajowego.

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

#### Literatura:

- [1] Program Polskiej Energetyki Jądrowej, Monitor Polski 16.10.2020, poz., 946
- [2] Rytlewski M. Marek, Resiak Tomasz, „Poza cenowe” kryteria wyboru ofert na projektowanie”, Pomorskie Forum Drogowe Gdynia 2016
- [3] Sykulski Leszek, *Polska energetyka jądrowa w perspektywie geopolitycznej*, Konferencja „Przyspieszyć z energetyką Jądrową”, Warszawa 24.03.2021.
- [4] Rzymkowski Krzysztof, *Energetyka jądrowa Japonii* PTJ 4/2008 VOL 51 Z.4 Warszawa

# ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE W 2021 ROKU - CIĄG DALSZY

## NUCLEAR ENERGY IN POLAND IN 2021 - CONTINUED

Andrzej Mikulski

**Streszczenie:** Artykuł stanowi kontynuację poprzednich informacji o podejmowanych działaniach w pierwszych trzech kwartałach 2021 r. w energetyce jądrowej w Polsce. Zadanie budowy reaktorów wielkoskalowych koncentrowało się na wyrażeniu gotowości dostaw technologii przez trzy firmy: amerykańską Westinghouse, francuską EDF i południowo-koreańską KHNP oraz powołaniu nowej spółki państwowej Polskie Elektrownie Jądrowe (PEJ). Równolegle realizowany jest pomysł zaangażowania się przemysłu prywatnego w budowę małych reaktorów modułowych przez Synthos, PKN Orlen, ZE PAK, KGHM, Ciech i Unimot.

**Abstract:** The article is a continuation of previous information on the activities undertaken in the first three quarters of 2021 in the nuclear energy sector in Poland. The task of building large-scale reactors focused on the expression of readiness to supply technology by three companies: the American Westinghouse, the French EDF and the South Korean KHNP and the establishment of a new state-owned company Polish Nuclear Power Plants (PEJ). At the same time, the idea of involvement of private industry in the construction of small modular reactors by Synthos, PKN Orlen, ZE PAK, KGHM, Ciech and Unimot is being implemented.

**Słowa kluczowe:** Polski Program Energetyki Jądrowej (PPEJ), Polskie Elektrownie Jądrowe (PEJ), reaktor wielkoskalowy (dużej mocy), mały reaktor modułowy (SMR)

**Keywords:** Polish Nuclear Energy Program (PPEJ), Polish Nuclear Power Plants (PEJ), high power nuclear reactor, small modular reactors (SMR)

Ostatni wydrukowany w PTJ (nr 3/2021) przegląd działań w energetyce jądrowej w Polsce dotyczył sytuacji do 15 września br. W kolejnym artykule zostanie przedstawione to, co wydarzyło się przez ostatnie dwa miesiące w kraju i za granicą oraz było związane z realizacją polskiego programu energetyki jądrowej.

**Odejście z rządu Michała Kurtyki, Ministra Klimatu i Środowiska** można potraktować jako pewien sygnał co będzie się dalej działo w energetyce jądrowej w Polsce. W swoich ostatnich wywiadach publikowanych na portalu BiznesAlert minister wypowiedział się zdecydowanie za energetyką jądrową by wymienić tylko tytuły poszczególnych wypowiedzi: „SMR uzupełnia się z dużym atomem. USA omawiają finansowanie i chcą walczyć z emisjami metanu”, „Konkrety w sprawie budowy elektrowni jądrowej pojawią się w połowie 2022 roku”, „Energetyka jądrowa odpowiada na stare i nowe wyzwania energetyki”, „Duży i mały atom nie stoją ze sobą w sprzeczności”, „Jest coraz trudniej wdrażać projekty jądrowe w Unii” i „Decyzja lokalizacyjna budowy elektrowni jądrowej zostanie podjęta jeszcze w tym roku”. Nowa minister Anna Moskwa zapowiedziała, że „nie zamierza przeprowadzać rewolucji w strukturze resortu”, a skupić się na „legislacji związanej z wodorem, atomem i Fit For 55”. Sprawy legislacyjne rzeczywiście wymagają przyspieszenia, gdyż skierowane w lipcu do uzgodnień międzyresortowych i konsultacji publicznych dwa dokumenty: projekt nowelizacji usta-

wy o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących (tzw. specustawy jądrowej) i niektórych innych ustaw oraz projekt „Strategii i polityki w zakresie rozwoju bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej RP” nie zostały jeszcze opublikowane po konsultacjach, a zapowiedziano, że te nowe ustawy mają skrócić proces inwestycji od jednego do półtora roku.

### Realizacja Programu Polskiej Energetyki Jądrowej

**Przygotowania do budowy reaktora wielkoskalowego** koncentrują się na ogłaszaniu kolejnych komunikatów o gotowości budowy elektrowni jądrowej w Polsce przez trzech liczących się kontrahentów.

Na pierwszej pozycji formalnie znajduje się **amerykańska firma Westinghouse** działająca w oparciu o podpisane porozumienie międzyrządowe. Firma ma przygotować ofertę dla Polski w ciągu 18 miesięcy, czyli do sierpnia 2022 r. Mirosław Kowalik, prezes Westinghouse Electric Poland w wywiadzie dla dziennika Rzeczpospolita zapewniał, że firma chce złożyć ofertę w połowie 2022 r. i będzie się ona „wpisywała się w polskie wymagania”, a „reaktor AP1000 to rozwiązanie sprawdzone”. Pytany, czy opóźnienia w budowie tych reaktorów w USA mogą pojawić się

także w Polsce, odpowiedział, że „podejmowane są wysiłki by tak nie było przypominając o wybudowaniu czterech takich reaktorów w Chinach, które sprawdzają się w eksploatacji”. Niemniej jednak należałoby sprawdzić, czy opóźnienia te wynikają wyłącznie z zawirowań w finansowaniu, czy też nałożyły się na to sprawy techniczne w projektowaniu i budowie urządzeń, jak to było przy budowie tych reaktorów w Chinach. Niepokojące jest stwierdzenie w wywiadzie, że „reaktory sprawdzają się także patrząc pod względem pasywnego systemu bezpieczeństwa”. Czyżby w czasie dotychczasowej eksploatacji trzeba było korzystać z tego systemu. Poinformowano również o zorganizowaniu w październiku tzw. Dnia Dostawcy, na którym przedstawiono wymagania stawiane polskim firmom oferującym dostawy urządzeń w czasie budowy oraz określono możliwy udział tych firm na poziomie przekraczającym 50%, ale szkoda, że nie wiemy, czy to jest średni udział przy budowie sześciu reaktorów, czy przy budowie ostatniego z nich. Firma Westinghouse korzystała ze wsparcia Sekretarza ds. Energii USA pani Jennifer Granholm w czasie jej wizyty we wrześniu br. w Warszawie. Poza tym oferta może być poparta podpisaną właśnie umową na dokończenie budowy bloku nr 3 w elektrowni jądrowej Chmielnicka oraz zapowiedzią budowy dalszych bloków AP1000 na Ukrainie.

Dwaj pozostali oferenci technologii jądrowej nie pozostają beczynni.

Prezes **francuskiej firmy EDF**, Jean-Bernard Lévy w czasie spotkania z premierem Mateuszem Morawieckim złożył w październiku br. oficjalnie rządowi polskiemu niewiążącą ofertę przedwstępną na budowę od czterech do sześciu reaktorów jądrowych typu EPR w dwóch lub trzech lokalizacjach w Polsce, o całkowitej mocy zainstalowanej od 6,6 do 9,9 GWe. Oferta obejmuje wszystkie kluczowe parametry Programu PEJ, takie jak konfiguracja instalacji, schemat przemysłowy, plany rozwoju lokalnego łańcucha dostaw, kosztorys i harmonogram. Ma ona również na celu określenie zasad polsko-francuskiego partnerstwa strategicznego wspierającego ambitny plan transformacji energetycznej Polski, zgodny z europejskim celem neutralności węglowej. W następnych tygodniach na ten temat rozmawiał prezydent Francji Emmanuel Macron z prezydentem Andrzejem Dudą, a ostatnio (25 listopada) też z premierem Mateuszem Morawieckim. Oferta francuska jest bardzo interesująca, gdyż pochodzi z kraju Unii Europejskiej i wpisuje się w wysiłki dziesięciu krajów Unii, by energetyka jądrowa została uwzględniona w zakresie w możliwości finansowania unijnego w dyrektywie o taksonomii. Podpisując umowę z Francją, trzeba jednak pamiętać o horendalnych wprost

opóźnieniach, przekroczeniach terminów i kosztów oraz usterkach projektowych przy budowie reaktorów EPR w Finlandii i we Francji. Budowa dwóch bloków w Chinach przeprowadzona została znacznie sprawniej, ale należałoby, chociaż wiedzieć, dlaczego eksploatacja jednego z nich w tym roku została wstrzymana na skutek nieszczelności elementów paliwowych. Wydaje się, że budowa reaktorów EPR w Wielkiej Brytanii postępuje dosyć sprawnie, ale też notowane są opóźnienia względem pierwotnych założeń podobno spowodowane pandemią COVID-19. I ostatnia sprawa, należy śledzić, jakie będą losy planów budowy reaktorów EPR w samej Francji i w Wielkiej Brytanii oraz niewiążącej oferty na budowę sześciu reaktorów EPR w elektrowni jądrowej Jaitapur w Indiach, która złożona została w kwietniu tego roku po wielu latach przygotowań przez EDF.

Trzecim pretendentem do budowy reaktorów jądrowych w Polsce jest **południowo koreański koncern KHNP**, który zapowiedział przygotowanie oferty dla Polski. Oferta ma być konkurencyjna pod względem technologii, ceny i harmonogramu budowy, a sam model reaktora APR1400 ma charakteryzować się znacząco podwyższonym poziomem bezpieczeństwa, spełniając w ten sposób wymagania Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) i Western European Nuclear Regulators Association (WENRA). To ostatnie stwierdzenie o wymaganiach oraz informacje o uruchomieniu dwóch i budowie dalszych czterech bloków u siebie w Korei Południowej oraz uruchomieniu dwóch bloków i budowie dalszych dwóch bloków w Zjednoczonych Emiratach Arabskich ma stanowić istotną rekomendację tej oferty. Padła nawet deklaracja, że oferta będzie, co najmniej 30% tańsza niż ta zaoferowana przez Francję, a udział polskich firm, których liczbę szacuje się na 250, może wynieść na początku 40%, a finalnie przy budowie ostatniego bloku może to być nawet 70%. Elementem wsparcia koreańskiej oferty było spotkanie premiera Mateusza Morawieckiego z prezydentem Korei Południowej Moon Jae-inem w kuluarach szczytu Grupy Wyszehradzkiej w Budapeszcie (4 listopada br.).

Budowa elektrowni jądrowych w Polsce może spotkać się ze sprzeciwem koalicji budowanej przez Austrię ze wsparciem Niemiec i Hiszpanii wobec planów włączenia energetyki jądrowej do taksonomii oraz uzgodnionego stanowiska nowej koalicji rządowej w Niemczech, która w umowie koalicyjnej zapisała, że będzie „działać na rzecz wyłączenia niebezpiecznych reaktorów jądrowych” znajdujących się przy granicach Niemiec. Z drugiej strony rośnie koalicja w obronie atomu w Unii Europejskiej, której mogą nie zatrzymać nawet antynuklearne Niemcy.

Panuje przekonanie, że zapowiedziana na grudzień propozycja Komisji Europejskiej uzupełnienia taksonomii będzie uwzględniać energetykę jądrową, jako zrównoważone źródło energii elektrycznej, a tym samym pozwoli na jej finansowanie przez banki. Na takie zmiany liczy Polska i Francja oraz takie inne kraje jak: Czechy, Słowacja i Węgry z Grupy Wyszehradzkiej oraz Słowenia, Chorwacja, Rumunia i Bułgaria pragnące budować nowe reaktory. Poza tym w miesięczniku „Wszystko co Najważniejsze” szef Narodowego Banku Polskiego prof. Adam Glapiński nazywa budowę elektrowni jądrowych „kluczowym elementem procesu przeprowadzenia transformacji energetycznej przez Polskę” i podkreśla, że jeżeli zajdzie potrzeba to NBP udzieli swojego wsparcia finansowego w tym zakresie.

### Realizacja zamierzeń budowy małych reaktorów modułowych

Zainteresowanie małymi reaktorami modułowymi w Polsce zgłosiło wcześniej pięć firm, a mianowicie: SGE, PKN Orlen, ZE PAK, KGHM i Ciech, a we wrześniu dołączył do nich Unimot.

**Spółka SGE** wraz z grupą doradców w ramach konsultacji społecznych opracowała i przedstawiła Ministerstwu Klimatu i Środowiska (MKiŚ) propozycję zmian w ustawie Prawo atomowe, które miałyby usprawnić i ułatwić proces licencjonowania i budowy małych reaktorów, gdyż przepisy nie mogą traktować identycznie wielkich reaktorów o mocy 1 GWe, małych reaktorów o mocy 300 MWe [BWRX-300] i mikroreaktorów o mocy 15 MWe [MMR firmy USNC]. Obecnie spółka czeka na pojawienie się projektu nowych regulacji ze złożeniem wniosku o wydanie tzw. ogólnej opinii prezesa PAA dotyczącej planowanych rozwiązań organizacyjno-technicznych w przyszłej działalności, związanej z reaktorem typu BWRX-300. Prezes spółki SGE Rafał Kasprów wyraził opinię, że budowa pierwszych małych reaktorów jądrowych (SMR) w Polsce może ruszyć rok-dwa po rozpoczęciu takiej inwestycji przez kanadyjską firmę Ontario Power Generation (OPG), czyli w 2026-2027 r. We wrześniu spółka podpisała z kanadyjską firmą Cameco umowę o współpracy w celu oceny możliwości dostaw paliwa jądrowego dla reaktorów BWRX-300 budowanych w Polsce.

**PKN Orlen** i SGE podpisały w czerwcu br. umowę o powołaniu wspólnej spółki Orlen Synthos Green Energy i obecnie prace koncentrują się na ustaleniu obszaru współpracy.

**Prezes ZE PAK** Piotr Woźny w udzielonym wywiadzie dla portalu BiznesAlert (listopad 2021) stwierdził,

że „atom ZE PAK nie jest konkurencją do rządowego programu dużych reaktorów”, a „My chcemy skupić się na sprowadzeniu do Polski tej technologii jądrowej [małych reaktorów BWRX-300], która wydaje się niezwykle popularna i jest bardzo uważnie obserwowana przez wszystkie osoby interesujące się rynkiem energetycznym. „Myślmy o budowie takich reaktorów w Pątnowie, który jest lokalizacją dysponującą systemem chłodzenia (jeziora) i wyprowadzeniem mocy elektrycznej z małych reaktorów. Podpisaliśmy umowę ze spółką Synthos, która odpowiada za technologię, a po naszej stronie jest kwestia lokalizacji. Dalej bardzo rozsądnie stwierdził, że „Nie chcemy budować pierwszej tego typu na świecie instalacji, patrzymy natomiast na to, co dzieje się w Stanach Zjednoczonych i w Kanadzie. Obserwujemy toczące się tam procesy certyfikacyjne i czekamy na moment, w którym będzie wiadomo, że tam zostało to wszystko obeerzane, pobłogosławione przez regulatorów i przez instytucje odpowiedzialne za kwestie bezpieczeństwa wytwarzania energii”.

**Spółka KGHM** skonkretyzowała swoje wcześniejsze zapowiedzi, że interesuje się małymi reaktorami, poprzez podpisanie we wrześniu porozumienia z amerykańską firmą NuScale dotyczącego budowy małych reaktorów jądrowych. Jak oświadczył prezes KGHM Marcin Chludziński, chodzi, o co najmniej cztery bloki NuScale, o mocy 77 MWe każdy\*.

**Firma Unimot** podpisała we wrześniu z amerykańskimi firmami, NuScale i Getka porozumienia o współpracy przy badaniu możliwości wdrożenia w Polsce technologii małych modułowych reaktorów jądrowych (SMR). Prezes Unimotu Andrzej Sikorski wyjaśnił, że „rolą spółki będzie promowanie technologii SMR jako stabilnej alternatywy dla technologii węglowych i pozyskiwanie partnerów biznesowych na polskim rynku” oraz chęć by „tworzyć platformę współpracy z polskimi ośrodkami naukowymi i potencjalnymi polskimi dostawcami komponentów dla rozwijania tej technologii w Polsce”.

### Wpływ otoczenia zagranicznego na energetykę jądrową w Polsce

Energetyka jądrowa w Polsce nie jest i nie może być oderwana od tego, co dzieje się za granicą w tej dziedzinie. W opisywanym okresie można wyróżnić poniższe zdarzenia:

1. Prezydent Emmanuel Macron we Francji zapowiedział budowę nowych elektrowni jądrowych,
2. Prezydent Joe Biden w USA podpisał program wspierania energetyki jądrowej,

\* więcej na ten temat napisano w DONIESIENIACH Z KRAJU, s.36.

3. różne organizacje społeczne w Niemczech (nawet z udziałem fundacji w FOTA4Climate z Polski) podejmują akcje protestacyjne przeciwko zamykaniu elektrowni jądrowych w tym kraju,
4. brytyjska firma Rolls-Royce doświadczona w budowie reaktorów do brytyjskich łodzi podwodnych wystąpiła jako nowy gracz na polu reaktorów SMR i przygotowuje się do uruchomienia takiego reaktora typu PWR o mocy 470 MWe ok. 2030 r.,
5. firma GEH Nuclear współpracująca w Polsce z Synthos Green Energy nawiązała współpracę z firmą BWXT Canada w zakresie wsparcia projektowania, produkcji i komercjalizacji reaktora BWRX-300, który jest jednym z trzech rozważanych do budowy przez firmę Ontario Power Generation (OPG) w lokalizacji elektrowni jądrowej Darlington,
6. Rumunia i firma NuScale Power podpisały porozumienie o rozwoju technologii małych reaktorów modułowych w tym kraju,
7. Bułgaria zgłosiła zainteresowanie reaktorem firmy NuScale i podpisała porozumienie o współpracy z firmą Fluor celem określenia możliwości budowy tych reaktorów w lokalizacjach likwidowanych elektrociepłowni,
8. Departament Energii USA podpisał porozumienie o finansowaniu niezależnego przeglądu raportu bezpieczeństwa reaktora NuScale przez Ukraińskie Państwowe Centrum Naukowo-Techniczne.

### Próba podsumowania 2021 roku

Realizacja PPEJ, czyli budowa reaktorów dużej mocy (wielkoskalowej) w Polsce niby się rozwijała

w 2021 r., ale zapewne nie tak szybko jakby chcieli jej zwolennicy. Wszystko postępuje zbyt wolno, a obawa braku energii elektrycznej na przełomie drugiej i trzeciej dekady XXI wieku jest realna w Polsce. Można odnieść wrażenie oczekiwania na amerykański raport przygotowywany przez firmę Westinghouse przy obserwowanym intensywnym promowaniu na szczeblu dyplomatycznym technologii francuskiej i południowo-koreańskiej (rozmowy prezydentów tych krajów i prezydentem Andrzejem Dudą i premierem Mateuszem Morawieckim). Małe reaktory modułowe, zyskały w tym roku zainteresowanie pięciu nowych firm oprócz spółki Synthos, która zajmuje się reaktorem BWRX-300 od ponad dwóch lat. Poważne obawy autora budzi zainteresowanie w Polsce dwoma różnymi reaktorami małej mocy (BWRX-300 i NuScale) i możliwość pod względem technicznym i organizacyjnym ich równoległej certyfikacji i budowy, nie wspominając, że reaktor wielkoskalowy ma priorytet wynikający z dokumentów rządowych. Przygotowanie nowelizacji prawa atomowego by skrócić czas przygotowania prawnego budowy elektrowni jądrowej i by można przystąpić do rozpatrywania wniosków dotyczących budowy małych reaktorów modułowych, niepokojąco się przeciąga. Można nawet odnieść wrażenie, że jest to celowe działanie by duży reaktor można było wcześniej wybudować i uruchomić.

*dr inż. Andrzej Mikulski,  
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,  
Warszawa*

# ALARA, CZYLI OPTYMALIZACJA W OCHRONIE RADIOLOGICZNEJ – ANALIZA DLA POLSKI

## ALARA, optimization in radiation protection – analysis for Poland

Ernest Bugała, Krzysztof W. Fornalski

**Streszczenie:** W niniejszym artykule skupiono się na ilościowym podejściu do opisanej w ustawie Prawo atomowe zasady optymalizacji, która jest implementacją międzynarodowej zasady ALARA, czyli redukcji narażenia na promieniowanie jonizujące do poziomu tak niskiego, jak jest to rozsądnie możliwe. W oparciu o praktyki międzynarodowe opisano kwestię wyznaczania parametru  $\alpha$  (alfa) w ochronie radiologicznej dla Polski, który opisuje materialny koszt skutków napromienienia pojedynczej osoby dawką skuteczną jednego siwerta. Obliczenia zostały przeprowadzone dla trzech sposobów wyznaczania parametru  $\alpha$ : metody PKB, metody bazującej na państwowo regulowanych odszkodowaniach oraz metody skłonności. Ostatecznie oszacowany dla Polski parametr alfa wynosi około 100 000 zł/Sv, co jest zgodne z praktykami międzynarodowymi. Obliczenia te przeprowadzono także dla różnych wariantów modelu ryzyka radiacyjnego: modelu liniowego (LNT), progowego oraz hormetycznego.

**Abstract:** The following paper focuses on a quantitative approach to the described in the Polish Atomic Law optimization principle that is an implementation of an international ALARA principle which requires reducing exposition to ionizing radiation to levels that are as low as reasonably achievable. Basing on international practice, an issue of calculating the  $\alpha$  (alpha) parameter in radiation protection for Poland is raised, which describes material cost of exposing a single person to an effective dose of one sievert. The calculations are conducted for three methods of calculating the  $\alpha$  parameter are presented: GDP method, method based on nationally regulated compensation and the willingness method. Estimated value of  $\alpha$  parameter for Poland is about 100 000 PLN / Sv and corresponds with international practice. The calculations were conducted for different radiation risk models: linear non-threshold (LNT), threshold and hormetic.

**Słowa kluczowe:** ochrona radiologiczna, promieniowanie, optymalizacja, dawka, parametr  $\alpha$

**Keywords:** radiation protection, radiation, optimization, dose,  $\alpha$  parameter

### 1. Wstęp

Zasada optymalizacji w ochronie radiologicznej wielokrotnie pojawia się w ustawie Prawo atomowe [1] – znajduje się ona m.in. w samej definicji ochrony radiologicznej, jako „zapobieganie narażeniu ludzi i skażeniu środowiska, a w przypadku braku możliwości zapobieżenia takim sytuacjom – ograniczenie ich skutków do poziomu tak niskiego, jak tylko jest to rozsądnie osiągalne, przy uwzględnieniu czynników ekonomicznych, społecznych i zdrowotnych” [1]. W powyższej definicji widać, więc fragment zasady optymalizacji, która w innym miejscu jest zdefiniowana, jako „wymagająca żeby – przy rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych oraz aktualnego stanu wiedzy technicznej – liczba narażonych pracowników i osób z ogółu ludności oraz prawdopodobieństwo ich narażenia były jak najmniejsze, a otrzymywane przez nich dawki promieniowania jonizującego były możliwie małe” [1]. Zasada ta jest znana za granicą, jako zasada ALARA (od angielskiego „as low as reasonably achievable”) lub ALARP („as low as reasonably practicable”). W każdym

z przypadków chodzi o minimalizację ryzyka narażenia na promieniowanie jonizujące oraz przyjmowanych dawek przy jednoczesnym rozsądnym gospodarowaniem zasobami. Przytoczona zasada optymalizacji oraz jej zastosowanie stanowi jeden z podstawowych problemów w ochronie radiologicznej w wielu krajach świata.

Międzynarodowa zasada ALARA, a wraz z nią nasza rodzima zasada optymalizacji, bazuje na konserwatywnym założeniu o szkodliwości każdej dawki promieniowania i liniowej zależności dawka-efekt (tzw. Hipoteza LNT, linear no-threshold, czyli liniowa bezprogowa). Nie wchodząc w dyskusję na temat słuszności takiego podejścia, należy podkreślić, że praktycznie wszystkie standardy ochrony radiologicznej obowiązujące na świecie bazują na hipotezie LNT, a co za tym idzie – zasada ALARA jest powszechnie stosowana, chociaż podejście do niej bywa bardzo różne.

W polskich przepisach istnieje oczywiście konieczność stosowania zasady optymalizacji, aczkolwiek jej ściśle i precyzyjne określenie jest trudne do zidentyfikowania. Jednym z jej przejawów jest sama koncep-



cja dawki granicznej, która jest różna dla pracowników narażonych na promieniowanie jonizujące (dawka skuteczna mniejsza niż 20 mSv/rok) oraz osób z ogółu ludności (1 mSv/rok) dla narażenia pochodzącego ze źródeł sztucznych pozamedycznych. Jednak dużo istotniejsze jest pojęcie ogranicznika dawki (limitu użytkowego dawki) zdefiniowanego jako „ograniczenie przewidywanych dawek indywidualnych, wyrażonych jako dawki skuteczne (efektywne) lub dawki równoważne, które mogą pochodzić od określonego źródła promieniowania jonizującego, uwzględnione podczas planowania ochrony radiologicznej w celach związanych z optymalizacją” [1]. Jest to więc jednoznaczny nakaz, aby dla konkretnej sytuacji narażenia przyjmować subiektywne ograniczenia na dawki jako mniejsze od dawek granicznych. Jednakże nie zostało podane ani kryterium, według którego będą one oszacowane, ani sposób takiego szacowania pozostawiając tak naprawdę wolną rękę użytkownikowi oraz nadzorującemu go regulatorowi.

W niniejszym artykule przedstawiono sposób podejścia do zasady optymalizacji za granicą przy użyciu tzw. parametru alfa ( $\alpha$ ). Jest to na tę chwilę jedyne ściśle i jednoznaczne kryterium używane do aplikacji zasady optymalizacji w praktyce. W oparciu o istniejące dane przedstawiliśmy jak wyglądałoby wdrożenie takiego podejścia w Polsce. Ponadto przedyskutowaliśmy w tym kontekście także inne modele dawka-efekt, alternatywne do modelu LNT.

## 2. Przykładowe zastosowanie zasady optymalizacji

Dobrym przykładem zastosowania zasady optymalizacji w praktyce jest wycofanie z eksploatacji oraz demontaż reaktora BR3 (Belgian Reactor 3) zlokalizowanego w belgijskim centrum badań jądrowych SCK-CEN koło miasta Mol. Reaktor działał od 1962 do 1986 r. i wówczas był pierwszym reaktorem typu PWR zbudowanym w Europie. Dodatkowo projekt wycofania reaktora BR3 z użytku był pierwszym przypadkiem zakończenia eksploatacji oraz demontażu reaktora jądrowego w Belgii. Te dwa fakty złożyły się na jeden z głównych problemów inwestycji, mianowicie oznaczały brak poprzednich doświadczeń w demontażu reaktora typu PWR, czyli brak danych, na których można by było oprzeć plan pracy i kolejność planowanych działań. Biorąc powyższy problem pod uwagę, pojawił się automatycznie kolejny (oprócz demontażu reaktora i jego instalacji) cel polegający na zebraniu danych radiacyjnych, na których można by oprzeć przyszłe inwestycje. Zebrane dane zawierały między innymi:

- pomiary dozymetryczne pracowników,
- liczbę pracowników zaangażowanych przy określonych zadaniach,
- pomiary czasu wykonywania poszczególnych zadań,

- określenie ryzyka narażenia pracownika na promieniowanie,
- opis innych potencjalnych niebezpieczeństw związanych z wykonywaniem zadań (styczność z toksycznymi chemicznie pierwiastkami i związkami np. azbest lub kwasy).



**Fot. 1.** Budynki reaktorowe i korpus reaktora BR3 znajdującego się w ośrodku jądrowym SCK-CEN w Belgii niedaleko miasta Mol (fot. Krzysztof Fornalski)

**Photo 1.** Reactor buildings and BR3 reactor vessel located in SCK-CEN nuclear research center in Belgium near Mol (photo: Krzysztof Fornalski)

Reaktor BR3, jak każdy PWR, posiadał dwa obiegi wody: wewnętrzny, który ma bezpośredni kontakt z elementami paliwowymi reaktora (woda działa w roli chłodziwa i moderatora reakcji jądrowych) oraz zewnętrzny, gdzie wytworzona para napędza turbiny generujące prąd. Warto w tym miejscu wspomnieć, iż BR3 miał dwie funkcje: badawczą oraz energetyczną (na niewielką skalę). W trakcie inwestycji wzięto pod uwagę fakt, że woda z obiegu pierwotnego jest wysoce skażona, zatem aby zredukować dawkę otrzymywaną przez pracowników prace rozpoczęto właśnie od oczyszczenia obiegu pierwotnego. Następnie kolejne elementy do demontażu wyznaczano według ich wpływu na dawkę otrzymywaną przez pracowników (zaczęto od fragmentów najbardziej promieniotwórczych, aby jak najbardziej zredukować czas narażenia pracowników na wysokie moce dawek promieniowania pochodzące od tych elementów). Elementy te w kolejności to:

- wycięcie osłony termicznej (dawka kolektywna 39,55 osobo-mSv),
- oczyszczenie obiegów reaktora z azbestu (22,4 osobo-mSv),
- demontaż fragmentów budynku reaktora (22,21 osobo-mSv),
- przygotowanie oraz usunięcie paliwa reaktora (9,8 osobo-mSv),
- usunięcie zbiornika reaktora (2,42 osobo-mSv),

- umieszczenie basenu mającego uszczelnić zbiornik reaktora (14,42 osobo-mSv),
- cięcie zbiornika reaktora na fragmenty (28,09 osobo-mSv),
- demontaż zbiornika tarczy neutronowej (7,34 osobo-mSv) [2].

Sumaryczna dawka kolektywna<sup>1</sup> wyniosła 158 osobo-mSv (uwzględniono również inne prace, przy których dawka kolektywna nie była tak wysoka, jak w przypadku wymienionych powyżej czynności). Przy szeregowaniu zadań pomocne były trzy zasady wprowadzone do standardów ochrony radiologicznej:

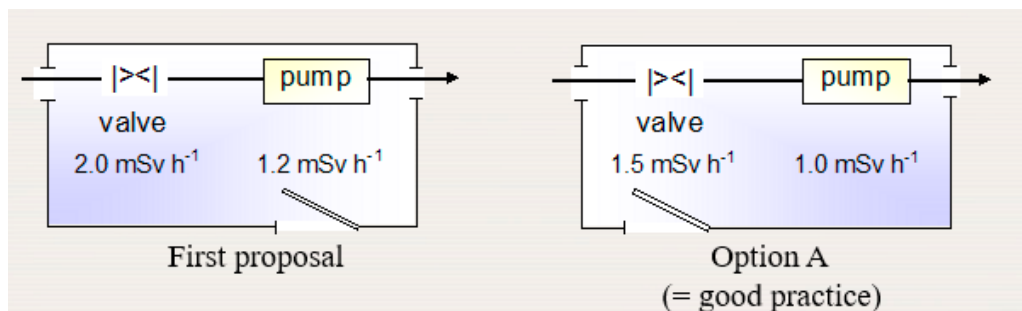
- uzasadnienie narażenia,
- optymalizacja,
- ograniczenie dawek.

Wszystkie przedstawione reguły przenikają się wzajemnie i uzupełniają. Pierwsza z nich mówi, że narażenie pracownika na dawkę promieniowania musi być uzasadnione tym, że zamierzony rezultat jego pracy będzie prowadził do ograniczenia dawek w kolejnych etapach prac. Druga wymaga optymalizacji prac pod względem otrzymanych dawek zarówno indywidualnych, jak i kolektywnych (czyli pod kątem równomiernego obciążania pracowników dawkami). Wiąże się to z trzecią zasadą, czyli ograniczeniem dawek. Sumaryczny efekt ograniczenia narażenia pracowników można osiągać na wiele sposobów, między innymi przez stosowanie osłon, skafandrów ochronnych, redukcję czasu ekspozycji i ograniczenie liczby narażonych pracowników do niezbędnego minimum (również poprzez lepsze wyszkolenie pracowników – osoba z większym doświadczeniem wykona pracę szybciej i otrzyma mniejszą dawkę). W każdym z wymienionych aspektów więcej wcale nie znaczy lepiej, gdyż należy zachować rozsądek w planowaniu działań i uwzględnić wiele aspektów pracy. Przede wszystkim zastanowić się, czy nasze działania nie przyniosą wię-

cej szkody, niż pożytku. Na przykład, czy zapewnienie pracownikowi grubszego kombinezonu ochronnego, dla większej redukcji otrzymywanej dawki nie spowoduje utrudnienia zadania do tego stopnia, że zajmie mu to znacznie więcej czasu niż wcześniej i nie spowoduje przyjęcia sumarycznie większej dawki niż przy lżejszym skafandrze. Czy wysyłając dwie osoby do zadania zamiast jednej nie zredukujemy znacznie czasu potrzebnego na wykonanie pracy i dzięki temu dawka kolektywna nie będzie mniejsza niż w przypadku pojedynczej osoby męczącej się samemu z trudnym zadaniem? Planując pracę, należy zadać sobie takie i wiele podobnych pytań i rozważyć wiele opcji tak, aby końcowo uzyskać optymalny rozkład dawek.

Innym praktycznym przykładem może być projektowanie pomieszczenia i procesu konserwacji zaworu oraz pompy pod względem optymalizacji ochrony radiologicznej. Znając częstotliwość, z jaką należy serwisować poszczególne elementy (np. raz na rok dla pompy i co tydzień dla zaworu – założono 40 tygodni roboczych w roku), czas potrzebny na przeprowadzenie konserwacji (5 godzin dla pompy oraz 15 minut dla zaworu) oraz rozkład mocy dawek w różnych wariantach układu pomieszczenia, można wybrać najlepszą z opcji. Rys. 1 obrazuje przykładowy wpływ umiejscowienia drzwi na dawki otrzymywane podczas przebywania w pomieszczeniu. Widać, że jeżeli drzwi zostaną umieszczone bliżej zaworu (który należy częściej serwisować), zmienia się rozkład mocy dawek na korzystniejszy oraz, mając na uwadze to, że częściej trzeba pracować przy zaworze, zmniejsza się czas przebywania pracownika w obszarze ryzyka (droga, którą pracownik pokonuje częściej, jest krótsza).

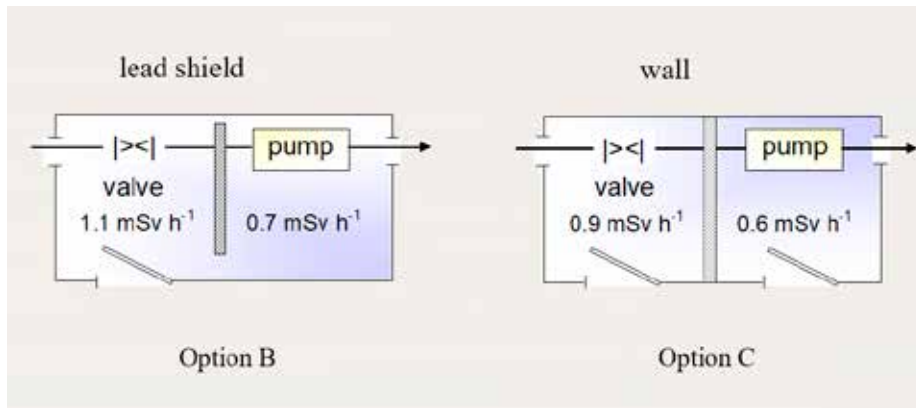
Następnie uwzględniano różnego rodzaju bariery mające jeszcze bardziej zredukować dawki otrzymywane podczas przebywania w pomieszczeniu. Dla różnych rozpatrywanych scenariuszy rozważano użycie tarczy ołowianej oraz zbudowanie ściany w pomiesz-



**Rys. 1.** Optymalizacja ochrony radiologicznej na przykładzie projektowania układu pomieszczenia (źródło: prezentacja Fernanda Vermeerscha [2]). Valve – zawór; pump – pompa; first proposal – pierwsza propozycja; option A (= good practice) – opcja A (= dobra praktyka)

**Fig. 1.** Optimization of radiation protection on the example of designing a room layout (source: Fernand Vermeersch's presentation [2])

<sup>1</sup> Należy zwrócić uwagę na fakt, iż w Polsce odchodzi się od pojęcia dawki kolektywnej, która jednakże jest jeszcze stosowana w wielu innych krajach



**Rys. 2.** Optymalizacja ochrony radiologicznej na przykładzie projektowania układu pomieszczenia – wprowadzenie bariery (źródło: prezentacja Fernanda Vermeerscha [2]). Lead shield – tarcza ołowiana; valve – zawór; pump – pompa; option B – opcja B; wall – ściana; option C – opcja C  
**Fig. 2.** Optimization of radiation protection on the example of designing a room layout – introducing a barrier (source: Fernand Vermeersch's presentation [2])

czeniu mającej oddzielić zawór od pompy (dodając dodatkowe drzwi – opcja C, zob. rys. 2).

Na rys. 2 widać, że opcja C prowadzi do większej redukcji mocy dawki w pomieszczeniu, niż opcja B, lecz niestety jest również opcją wymagającą większego nakładu materialnego. Rozważano zatem trzy opcje (scenariusze): A, B oraz C (oznaczone na rys. 1 i 2) pod względem kosztów oraz redukcję mocy dawki w pomieszczeniu. Roczny czas konserwacji obu elementów wyznaczono na: 10 osobogodzin dla zaworu (15 minut na zadanie wymagające 1 pracownika 40 razy do roku) oraz 5 osobogodzin (raz do roku zadanie wymagające 5 godzin i 1 pracownika) dla pompy. Koszty każdej z trzech opcji oceniono na: A – 0 €, B – 1200 €, C – 4100 € jednorazowej inwestycji oraz A – 0 €/rok, B – 5 €/rok i C – 15 €/rok rocznych kosztów eksploatacji. Roczne dawki kolektywne przyjmowane przez pracowników przy wykonywaniu konserwacji układu wyniosły szacunkowo: A – 20 osobo-Sv/rok, B – 14,5 osobo-Sv/rok, C – 12 osobo-Sv/rok (obliczone jako roczny czas konserwacji zaworu razy moc dawki przy zaworze plus roczny czas konserwacji pompy razy moc dawki przy pompie dla każdego wariantu). W cytowanej analizie [2] założona roboczo wartość współczynnika  $\alpha$  wyniosła 30 €/mSv na osobę (autor analizy [2] zaznacza, że jest to wartość mocno szacunkowa i wymagane jest jej uzasadnienie i głębsza analiza tematu). Bazowano tutaj na hipotezie liniowej bezprogowej (LNT) sugerującej liniowy wzrost ryzyka wystąpienia chorób związanych z wpływem promieniowania jonizującego na organizm od dawki. Otrzymano zestawienie rocznych kosztów dla każdej z opcji (Tabela 1).

Koszt X obliczono dzieląc wartości kosztów jednorazowych postawienia odpowiedniej osłony przez 20 (założoną liczbę lat eksploatacji układu) i dodając roczne koszty eksploatacyjne danej opcji. Można zauważyć, że mimo postawienia ściany (dalszego zwiększenia poziomu ochrony radiologicznej względem tarczy ołowianej), koszty są wyższe, niż dla przypadku B. Ana-

**Tabela 1.** Zestawienie rocznych kosztów każdego z trzech wariantów inwestycji przedstawionych na rys. 1 i 2 (źródło: prezentacja Fernanda Vermeerscha [2])

**Table 1.** Comparison of annual costs for each of the investment options depicted in fig. 1 and 2 (source: Fernand Vermeersch's presentation [2])

Opcja (scenariusz)	X koszt (€)	S dawka kolektywna (osobosiwerty)	X + $\alpha$ S Koszt całkowity (€)
A	-	20	600
B	65	14,5	500
C	220	12	580

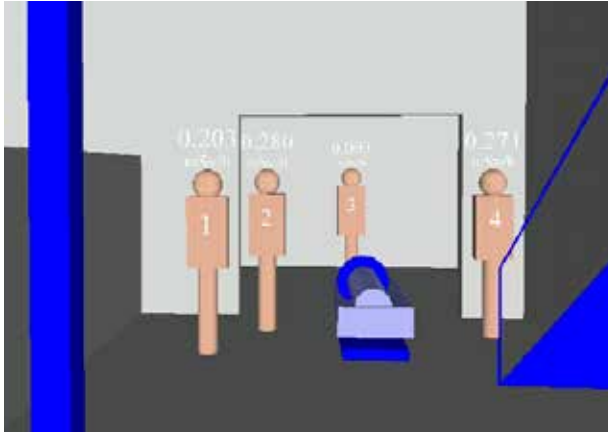
lizę sumarycznych kosztów i zależności ich składowych między sobą przedstawione są w kolejnym rozdziale (rys. 4).

Aktualnie planowanie zadań pracowników w Belgii (czas zadania, umiejscowienie i pozycja pracownika przy wykonywaniu zadania itd.) odbywa się przy pomocy symulacji komputerowych pozwalających na odwzorowanie miejsca pracy przy użyciu mode-



**Fot. 2.** Po lewej – zdjęcie rzeczywistej instalacji w elektrowni jądrowej, po prawej – ta sama instalacja odwzorowana w postaci modeli w programie Visiplan (źródło: materiały SCK-CEN [2])

**Photo 2.** Left – a photo of existing nuclear power plant installation, right – the same installation remade as models in Visiplan (source: SCK-CEN materials [2])



**Rys. 3.** Wynik symulacji programu Visiplan – prognozowane moce dawk w zależności od miejsca, w którym znajduje się dana osoba (źródło: materiały SCK-CEN [2])

**Fig. 3.** Output of Visiplan simulation – prognosed dose powers depending on person's location (source: SCK-CEN materials [2])

li geometrycznych oraz propagacji promieniowania w przestrzeni (na podstawie odpowiednich pomiarów dozymetrycznych oraz podaniu materiałów, z których zrobione są elementy pomieszczenia i instalacji). Przykładami takich programów są Visiplan (przykłady użycia pokazane są na fot. 2 i rys. 3) oraz ErgoDose. W energetyce jądrowej testowane są również bardziej zaawansowane kody numeryczne bazujące na algorytmach genetycznych, a służące do znalezienia optymalnego rozwiązania przy uwzględnieniu wielu pracowników i wielu elementów całego skomplikowanego projektu elektrowni jądrowej.

### 3. Parametr i metody wyznaczania jego wartości

Parametr jest w przypadku ilościowej optymalizacji ochrony radiologicznej jednym z najbardziej podstawowych i ścisłych parametrów. Opisuje on materialny koszt skutków napromienienia pojedynczej osoby dawką jednego siwerta. Parametr ma pomóc ocenić zasadność podwyższenia stopnia ochrony radiologicznej w rozważanym miejscu – w danym ośrodku badawczym, elektrowni jądrowej, firmie, regionie, czy kraju. Zasadność ta ma być określana przez zasadę optymalizacji, szczególnie fragmentu „przy rozsądnym uwzględnieniu czynników ekonomicznych i społecznych”. Chodzi tutaj o prostą analizę zysków i strat, w której należy zastanowić się, czy koszty zamierzonych działań nie przewyższą korzyści uzyskanych z inwestycji. To właśnie materialne podejście stoi za koniecznością wyznaczania parametru. Taka analiza bazuje na prostym równaniu zaczerpniętym z pracy [3]:

$$B = V - (P + X + Y) \quad (2.1.)$$

gdzie:

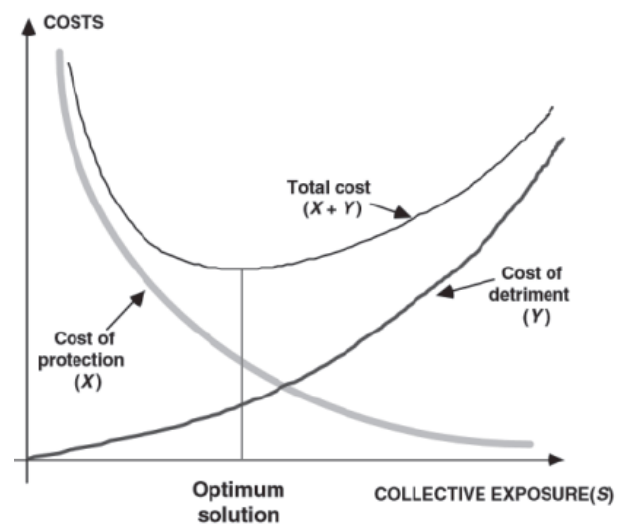
$B$  – zysk netto z zamierzonych działań,  
 $V$  – zysk brutto zamierzonych działań,

$P$  – koszt produktów potrzebnych do wprowadzenia działań w życie (bez uwzględnienia kosztów ochrony radiologicznej),

$X$  – koszt ochrony radiologicznej,

$Y$  – koszt uszczerbku na zdrowiu pracowników wywołany promieniowaniem.

Zakłada się, że wartości  $V$  oraz  $P$  są stałe i niezależne od zastosowanego stopnia ochrony radiologicznej, natomiast wartości  $X$  i  $Y$  ściśle zależą od dawki kolektywnej. Dodatkowe założenie polega na tym, że ich wartości są ze sobą skorelowane – im większe wydatki na ochronę radiologiczną, tym jest ona skuteczniejsza i tym mniejsza jest dawka kolektywna, a co za tym idzie, maleją koszty potencjalnego uszczerbku na zdrowiu wywołane promieniowaniem. Tę korelację pomaga zobrazować rys. 4.



**Rys. 4.** Wykres przykładowej zależności sumarycznych kosztów od dawki kolektywnej (źródło: J.Linsheng et al. [3]).

$Costs$  – koszty;  $cost\ of\ protection\ (X)$  – koszty ochrony ( $X$ );  $optimum\ solution$  – optymalne rozwiązanie;  $total\ cost$  – koszt całkowity;  $cost\ of\ detriment\ (Y)$  – koszty uszczerbku ( $Y$ );  $collective\ exposure(s)$  – kolektywna ekspozycja

**Fig. 4.** Example plot of a relationship between overall costs and collective dose (source: J.Linsheng et al. [3])

Koncentrując się na równaniu (2.1): aby osiągnąć największy zysk netto prowadzonych działań, należy dążyć do tego, aby suma  $X + Y$  osiągnęła minimum. Koszt uszczerbku na zdrowiu pracowników wywołany promieniowaniem jest funkcją zależną od wcześniej opisanego parametru  $\alpha$  oraz dawki kolektywnej (ryzyko wystąpienia zmian w organizmie spowodowanych promieniowaniem jonizującym jest oddzielne dla każdego pracownika, ale koszty dla pracodawcy/inwestora są sumą kosztów po wszystkich pracownikach). Postać tej funkcji zależy od przyjętego modelu ryzyka, a najczęściej stosowaną na świecie funkcją jest linia prosta (model LNT), chociaż z punktu widzenia wielu danych naukowych jest to dyskusyjne.

Autorzy pracy [3] podają trzy metody wyznaczania parametru  $\alpha$ :

- Metoda bazująca na produkcie krajowym brutto na osobę (PKB per capita) analizowanego państwa,
- Metoda bazująca na kwotach państwowo regulowanych odszkodowań,
- Metoda skłonności (willingness method).

#### A. Metoda PKB

Metoda bazuje na trzech współczynnikach. Po pierwsze (zgodnie z nazwą) należy określić wartość produktu krajowego brutto na osobę w badanym państwie. W Polsce w 2019 r. PKB per capita wyniosło 59 229 zł (podawane za GUS: <https://stat.gov.pl/podstawowe-dane/> [4]). Drugim z czynników jest średnie skrócenie życia człowieka wynikające z niekorzystnego wpływu promieniowania jonizującego (składają się na to głównie śmiertelne przypadki zachorowań na raka oraz czynniki dziedziczne). Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA) podaje, że czas ten należy szacować na 16 lat na każdy siwert dawki (przy zastosowaniu modelu LNT) [5]. Ostatnim współczynnikiem jest prawdopodobieństwo wystąpienia negatywnych skutków przyjęcia określonej dawki promieniowania. Tutaj kluczową rolę odgrywa dobór modelu ryzyka.

#### B. Metoda bazująca na państwowo regulowanych odszkodowaniach

Metoda opiera się na obliczeniu kosztów ponoszonych przez państwo oraz przedsiębiorstwo zatrudnia-

jące pracownika w przypadku jego śmierci poniesionej z przyczyn związanych z wykonywanym zawodem (wypadek przy pracy lub choroba zawodowa). Trzy główne składowe powyższych kosztów to:

- odprawa pośmiertna,
- zasiłek pogrzebowy,
- jednorazowe odszkodowanie z tytułu wypadku przy pracy lub choroby zawodowej.

Pierwszym z kosztów obarczony jest pracodawca, który zobowiązany jest do wypłacenia rodzinie pracownika kwoty równoważnej jedno-, trzy- lub sześciomiesięcznemu wynagrodzeniu zmarłego (zależnie od jego stażu pracy w danym przedsiębiorstwie, odpowiednio: do 10 lat, między 10 a 15 lat i przynajmniej 15 lat) [6]. Przeciętne miesięczne wynagrodzenie brutto w listopadzie 2020 r. wynosiło 5484,07 zł (dane za GUS). Zakładając wypłacanie odprawy według najwyższego progu, otrzymujemy kwotę 32 904,42 zł.

Zasiłek pogrzebowy ustalony jest na kwotę do 4 000 zł i przysługuje osobie lub organowi, który pokrył koszty pogrzebu. Jeżeli jest to członek rodziny osoby zmarłej wypłacana jest pełna kwota 4 000 zł bez względu na koszty pogrzebu. W przypadku pracodawcy i innych organizacji wypłacana jest kwota w wysokości udokumentowanych kosztów, do wysokości maksymalnej 4 000 zł [7]. W obliczeniach parametru, założymy kwotę maksymalną, z uwagi na fakt, iż koszty pogrzebu zwykle wynoszą więcej, niż podana kwo-

**Tabela 2.** Choroby zawodowe wywołane promieniowaniem jonizującym lub będące nowotworami, wymienione w Rozporządzeniu Rady Ministrów w sprawie chorób zawodowych

**Table 2.** Occupational diseases caused by ionizing radiation or being any kind of cancer listed in Council's of Ministers decree regarding occupational diseases

	Choroby zawodowe	Okres, w którym wystąpienie udokumentowanych objawów chorobowych upoważnia do rozpoznania choroby zawodowej pomimo wcześniejszego zakończenia pracy w narażeniu zawodowym
Choroby wywołane działaniem promieniowania jonizującego:	Ostra choroba popromienna uogólniona po napromieniowaniu całego ciała lub przeważającej jego części	2 miesiące
	Ostra choroba popromienna o charakterze zmian zapalnych lub zapalno-martwiczych skóry i tkanki podskórnej	1 miesiąc
	Przewlekłe popromienne zapalenie skóry	Nie można określić
	Przewlekłe uszkodzenie szpiku kostnego	Nie można określić
	Zaćma popromienna	10 lat
Nowotwory złośliwe powstałe w następstwie działania czynników występujących w środowisku pracy, uznanych za rakotwórcze u ludzi:	Rak płuca, rak oskrzela	Indywidualnie w zależności od okresu latencji nowotworu
	Międzybłoniak opłucnej albo otrzewnej	
	Nowotwór układu krwiotwórczego	
	Nowotwór skóry	
	Nowotwór pęcherza moczowego	
	Nowotwór wątroby	
	Rak krtani	
	Nowotwór nosa i zatok przynosowych	
Nowotwory wywołane działaniem promieniowania jonizującego z prawdopodobieństwem indukcji przekraczającym 10%	Indywidualnie, po oszacowaniu ryzyka	

(Podano za [8])

ta, więc zakłada się, że z reguły zasiłek ten wypłacany jest w pełni.

Ostatnim z wymienionych kosztów jest jednorazowe odszkodowanie z tytułu wypadku przy pracy lub choroby zawodowej. W przypadku ochrony radiologicznej interesują nas głównie choroby zawodowe (wszystkie wymienione są w odpowiednim rozporządzeniu [8]), w szczególności te związane z promieniowaniem jonizującym oraz nowotworami podane są w tabeli 2.

Za śmierć z powodu chorób zawodowych rodzinie zmarłego przysługuje jednorazowe odszkodowanie w bazowej wysokości 88 527 zł. Odszkodowanie w tej wysokości obowiązuje, jeżeli jest wypłacane małżonkowi albo dziecku (tylko jednemu z dwojga wymienionych) osoby poszkodowanej. W przypadku większej liczby dzieci (lub posiadania małżonka oraz dziecka) dodatkowo na każde dziecko przysługuje 17 214 zł. Sumaryczna kwota jest dzielona w równych częściach między uprawnione osoby [9]. Do dalszych obliczeń zakłada się podstawową wysokość odszkodowania w wysokości 88 527 zł.

Sumując wyżej wymienione koszty otrzymujemy kwotę 125 431,42 zł i ponownie uzyskane wartości parametru zależą od doboru modelu ryzyka.

### C. Metoda skłonności (willingness method)

Metoda skłonności bazuje na dwóch pojęciach. Pierwsze z nich to WTA – willingness to accept, czyli jaką kwotę osoba jest skłonna zaakceptować w ramach rekompensaty za wystawienie jej na pewne ryzyko lub niedogodności. Drugim pojęciem jest WTP – willingness to pay, czyli ile dana osoba jest w stanie zapłacić za uniknięcie tych samych niedogodności. Metoda skłonności dzieli się na trzy główne typy: metoda pensji i ryzyka, metoda rynku konsumpcyjnego oraz metoda wartości warunkowej. Autorzy pracy opisującej wyznaczanie parametru w stosunku do realiów Chin [3] korzystają z metody pensji i ryzyka. Polega ona na uwzględnieniu ryzyka związanego z wykonywaną pracą (ryzyka odniesienia uszczerbku na zdrowiu lub nawet śmierci w wyniku wypadku) przy ustalaniu pensji za wykonywaną pracę. Oznacza to wyższe pensje na stanowiskach związanych z podwyższonym ryzykiem lub niedogodnościami (ewentualnie dodatki podwyższające pensję rekompensujące ryzyko). Najprostszymi przykładami tej zależności mogą być praca na platformie wiertniczej, czy prace górnicze. Autorzy, jako zalety tego typu metody względem pozostałych dwóch podają łatwość zebrania wyników dotyczących relacji pensji-ryzyka oraz fakt, że dane te opierają się o rzeczywisty rynek pracy, a nie hipotetyczny.

Wyżej wspomniana praca przy wyznaczaniu parametru  $\alpha$  metodą skłonności korzysta z danych zebranych przez grupę chińskich naukowców, którzy w 2012 r. przeprowadzili wśród 795 pracowników z 98

firm z sektorów usług, budownictwa, chemicznego, produkcji oraz węglowego kwestionariusz dotyczący oczekiwanych dodatków pieniężnych mających zrekompensować zwiększone ryzyko wypadku lub śmierci związane z wykonywaną pracą. Warto zaznaczyć, że kwestionariusz został przeprowadzony wśród pracowników zajmujących stanowiska z grup pracowników lokalnych („on-site staffs”, czyli znajdujących się bezpośrednio na miejscu wykonywanej pracy), kierownictwa lokalnego, administracji oraz kierownictwa wyższego szczebla (ostatnie dwie grupy niekoniecznie znajdowały się lokalnie w obszarze podwyższonego ryzyka). Analiza otrzymanych wyników pozwoliła autorom na wysnucie wniosków, że parametr WTA podlega rozkładowi normalnemu i przy 95% poziomie ufności wynosi 38 544 000 RMB (renminbi, waluta obowiązująca w Chińskiej Republice Ludowej zwana inaczej juanem). Rozumie się przez to, że zbadana kwota miałaby odzwierciedlać niedogodności odniesione w nieokreślonym czasie pracy (nie jako dodatek np. miesięczny lub roczny, lecz przy całościowym stażu pracy od początku kariery aż do emerytury).

Z uwagi na brak dostępnych danych z tego zakresu dla Polski przyjęto metodę przeliczenia danych uzyskanych we wspomnianej pracy [3] poprzez porównanie parametru WTA do średniej pensji w tym samym roku i wyznaczenie, jaką wielokrotność pensji stanowi współczynnik WTA, a następnie obliczenie parametru WTA dla Polski na podstawie obecnej średniej pensji. Stosując powyższą metodę zakłada się, że wartość, jaką niesie ze sobą pieniądź dla osoby w danym czasie i państwie jest skorelowana z jej pensją. Metoda ta pozwala na pominięcie analizy związanej z inflacją na przestrzeni lat w obu krajach oraz zmienności kursu walut. Zaniedbujemy więc wszelkie uwarunkowania polityczne, kulturowe i relacje międzynarodowe na rzecz skupienia się na tym, ile dla człowieka jest wart pieniądź oraz ryzyko z jakim musi się mierzyć.

W 2012 r. średnia roczna pensja wynosiła 47 593 RMB [10] co oznacza, że parametr WTA jest w zaokrągleniu 810 razy wyższy, niż średnia pensja w danym roku. Ostatnia (w momencie pisania) wartość średniej pensji w Polsce (na listopad 2020) wynosi 5484,07 zł (dane za GUS) zatem z wyliczonej zależności obecna wartość parametru WTA dla Polski wynosi 4 442 097 zł (w zaokrągleniu do pełnych złotych).

Artykuł J.K. Horowitz i K.E. McConnella [11] podaje, że średnio parametr WTA jest 7 razy wyższy, niż parametr WTP, co prowadzi do uzyskania wartości WTP równej 634 585 zł (ponownie w zaokrągleniu do pełnych złotych).

#### 4. Obliczenia wartości parametru $a$ dla modelu LNT

Do obliczenia wartości parametru  $a$  należy posiadać wiedzę na temat trzech głównych współczynników:

- średnie skrócenie życia człowieka wynikające z niekorzystnego wpływu promieniowania jonizującego (tj. śmiertelne przypadki zachorowań na raka lub czynniki dziedziczne),
- prawdopodobieństwo wystąpienia wyżej wymienionego zjawiska,
- kwota odzwierciedlająca uszczerbek na zdrowiu człowieka lub skrócenie czasu jego życia wskutek negatywnego wpływu promieniowania jonizującego

Ogólne równanie na wartość parametru jest zadane w postaci:

$$a = LPK \quad (4.1)$$

gdzie:

- $L$  – średnie skrócenie życia wynikające z wpływu promieniowania,
- $P$  – prawdopodobieństwo wystąpienia wyżej wymienionego zjawiska,
- $K$  – kwota odzwierciedlająca straty materialne związane ze skróceniem życia człowieka.

Jak wspomniano wcześniej, zgodnie z raportem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) współczynnik  $L$  wynosi 16 lat/Sv [5]. Jest to wartość przyjęta dla modelu LNT (Linear No-Threshold), czyli liniowego bezprogowego wzrostu ryzyka radiacyjnego wraz z dawką. Prawdopodobieństwo  $P$  zależy ściśle od przyjętego tegoż modelu ryzyka radiacyjnego oraz jego parametrów. Wielkość kwoty  $K$  zależy z kolei od metody wyznaczania parametru  $a$ .

Szacując wartości parametru alfa, należy w pierwszej kolejności skupić się na używanym prawnie modelu ryzyka radiacyjnego, czyli na modelu LNT. Przypomnijmy, że model LNT – z angielskiego „linear no-threshold” – postuluje liniową zależność ryzyka powstania zmian nowotworowych spowodowanych promieniowaniem od pochłoniętej dawki. Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej (ICRP) proponuje, aby współczynnik dodatkowego ryzyka powstania zmian nowotworowych (ERR) wynosił 5%/Sv [12]. Model ten jest najprostszy w opisie oraz zastosowaniu, dlatego właśnie na nim bazują regulacje prawne dotyczące ochrony radiologicznej w wielu państwach (również w Polsce). Główną bazą modelu są badania przeprowadzone na ofiarach wybuchów bomb jądrowych w Hiroszynie i Nagasaki. Niestety badania te mają kilka wad. Po pierwsze, ofiary bombardowań otrzymały dawki w jednym krótkotrwałym impulsie przy ekstremalnie wysokiej mocy dawki, co ma się nijak do niewielkiego narażenia chronicznego spotykane-

go w ochronie radiologicznej. Po drugie, ocena dawki pochłoniętej przez badaną osobę opierała się na wywiadzie, w którym miejscu (jak daleko od strefy zero, czyli miejsca na ziemi bezpośrednio pod punktem detonacji bomby) dana osoba znajdowała się w momencie eksplozji i uwzględniała tylko promieniowanie uwolnione w momencie wybuchu, pomijając opad promieniotwórczy [13]. Metoda spowodowała powstanie znacznych niepewności pomiarowych, szczególnie w obszarze małych dawek. Daleko jest, więc tym ocenom do jakichkolwiek pomiarów dozymetrycznych, chociaż wykorzystując metody dozymetrii retrospektywnej (badania organizmu pomagające ustalić dawki pochłonięte w przeszłości, nawet lata po ekspozycji), po latach udało się nieco bardziej uwiarygodnić te dane. Po trzecie, ludność będąca poza strefą rażenia eksplozji (uznawana za grupę kontrolną), otrzymała pewne niezerowe dawki promieniowania pochodzące od opadu promieniotwórczego lub na skutek przybycia do miasta już po wybuchu. Model bazuje również na przeświadczeniu, że skoro promieniowanie jonizujące w dużych dawkach zagraża zdrowiu i życiu, to musi tak być niezależnie od dawki i powinniśmy się go jak najbardziej wystrzegać. Dlatego właśnie model LNT proponuje liniowy wzrost ryzyka nowotworu w całym zakresie dawek (nawet tych niewielkich, porównywalnych z naturalnym tłem promieniowania). Niesie to niestety za sobą wiele niezamierzonych skutków, takich jak nieuzasadnione próby zmniejszania dawek przyjętych przez pracowników przy i tak już znikomych dawkach porównywalnych z naturalnym tłem czy propagowanie radiofobii przez różne organizacje pseudoekologiczne.

Mimo wymienionych wcześniej wad modelu LNT, stanowi on podstawę współczesnej ochrony radiologicznej na całym świecie. Zakłada on liniową zależność ryzyka powstania zmian nowotworowych od dawki skutecznej, którą można opisać wzorem:

$$ERR = aE \quad (4.2)$$

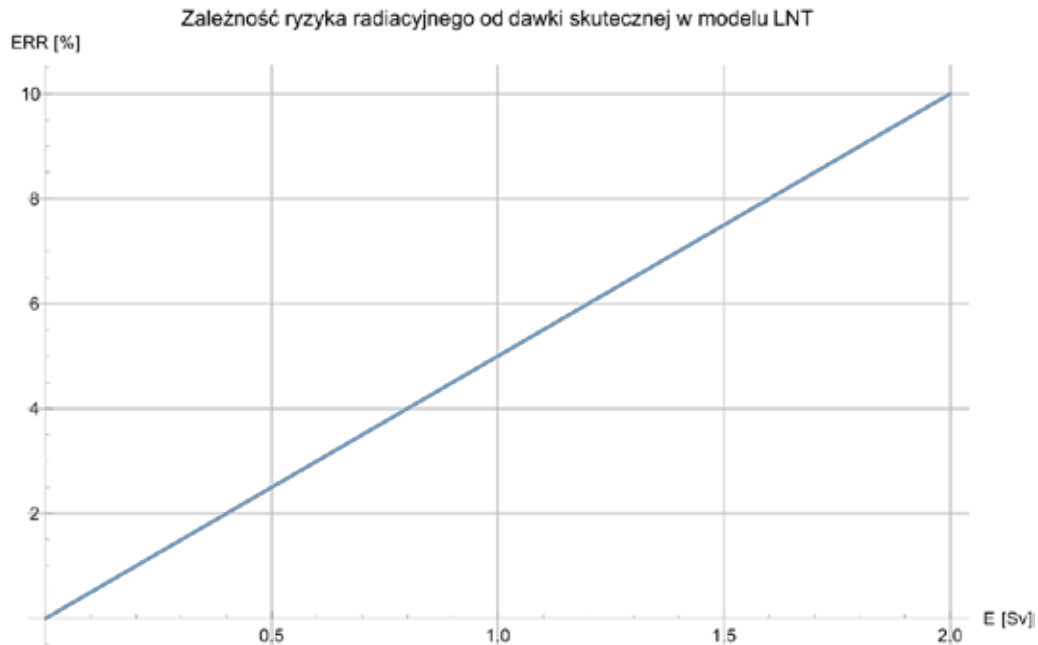
gdzie:

- $ERR$  – „excessive relative risk”, dodatkowe ryzyko wystąpienia zmian nowotworowych,
- $a$  – współczynnik ryzyka (nachylenie prostej),
- $E$  – dawka skuteczna.

Jak już wspomniano, sugerowana przez ICRP wartość współczynnika ryzyka wynosi 5%/Sv [12]. Poniższy wykres (rys. 5) pozwala lepiej zobrazować tę zależność.

Wyznaczone wartości parametru  $a$  dla modelu LNT obliczone przy zastosowaniu równania (4.1) dla każdej z metod przedstawiono w tabeli 3.

Widać, że otrzymane dane znacząco się różnią. O ile dla metod bazujących na PKB i odszkodowaniach różnica jest około dwukrotna, o tyle dla współczynnika WTP jest to ponad dziesięciokrotne przebicie wzglę-



**Rys. 5.** Wykres zależności ryzyka radiacyjnego w zależności od dawki skutecznej promieniowania jonizującego dla modelu liniowego bezprogowego (LNT) przy założeniu 5%/Sv

**Fig. 5.** Plot of a relationship between excess relative risk and effective dose of ionizing radiation for linear non threshold model (LNT)

**Tabela 3.** Wyznaczone wartości parametru  $\alpha$  dla modelu liniowego bezprogowego z zastosowaniem każdej z omówionych wcześniej metod

**Table 3.** Calculated values of  $\alpha$  parameter for linear non-threshold model with use of each one of the methods described earlier

Metoda wyznaczania parametru $\alpha$	Wartość parametru $\alpha$ [zł/Sv]
PKB	47 383,2
Odszkodowania	100 345,1
WTA	3 553 678
WTP	507 668

dem metody PKB, a dla współczynnika WTA wręcz siedemdziesięciopięciokrotne. Podstawą występowania takich różnic jest przede wszystkim fakt, że metody PKB i odszkodowań bazują na twardych danych określonych prawnie lub metodami statystyczno-ekonomicznymi, natomiast współczynniki WTA i WTP wynikają z ankietyzacji grupy osób z ogółu populacji, więc są danymi mocno subiektywnymi. Oczywiście wartości parametru  $\alpha$  dla WTA i WTP również podlegają pewnej statystyce, w końcu liczba ankietowanych osób była niemała i obowiązki pełnione przez badane osoby były zróżnicowane [3], jednak widać, że dominuje tutaj czynnik ludzki polegający na subiektywnej ocenie wartości zdrowia i życia ludzkiego. Drugim ważnym problemem jest to, że dane dotyczące współczynników WTA oraz WTP pochodzą z Chin, którym daleko do Europy nie tylko w znaczeniu geograficznym, ale również kulturowym i gospodarczym, więc dane te, mimo próby przeliczenia na złotówki, nie do końca mogą sprawdzić się w realiach polskiej gospodarki.

Najbardziej przekonującymi parametrami wydają się być kwoty kosztów uzyskane dla metod PKB oraz metody bazującej na odszkodowaniach. Są one zaczerpnięte bezpośrednio z danych ściśle związanych z Polską (odpowiednio dane Głównego Urzędu Statystycznego oraz obowiązujące przepisy prawne), zatem wyznaczenie parametru powinno bazować na jednej z powyższych kwot. Wielkość PKB per capita reprezentuje statystyczny (uśredniony po wszystkich obywatelach) wpływ pojedynczej osoby na gospodarkę kraju. Problem może stanowić fakt, że pracownicy ośrodków badawczych, radiolodzy, czy pracownicy elektrowni atomowych są dość specyficzną grupą, której (ze względu na swoje wyspecjalizowanie) nie powinno się określać mianem statystycznego obywatela. Wielkością, która z jednej strony jest twardo osadzona w realiach Polski, a z drugiej w razie potrzeby mogłaby podlegać pewnej personalizacji ze względu na wykonywany zawód, jest kwota uzyskana z metody odszkodowań. Dwie z trzech części są stałe dla każdego obywatela (zasilek pogrzebowy oraz jednorazowe odszkodowanie za śmierć z powodu choroby zawodowej), natomiast trzecia z nich – odprawa pośmiertna jest zależna od typu wykonywanej pracy lub piastowanego stanowiska (bezpośrednio zależy od pensji, która z kolei zależy od pracy i stanowiska). Podlega więc ona pod odpowiednie dopasowanie do charakteru planowanej inwestycji (znając planowane lub aktualne pensje pracowników na odpowiednich stanowiskach oraz ich staż pracy można z łatwością wyznaczyć wysokość potencjalnej odprawy pośmiertnej, a co za tym idzie materialnego kosztu, jaki śmierć pracownika stano-



wiaby dla przedsiębiorstwa). Wyznaczona powyżej kwota opiera się na kwocie średniej pensji krajowej, która może być zastąpiona przez dowolną inną pensję pracownika i ponownie przeliczona zgodnie z potrzebami. Jedynym zauważalnym minusem tej metody względem metody PKB jest fakt, że przepisy dotyczące odszkodowań aktualizowane są dość rzadko w porównaniu do corocznego ogłoszenia wysokości produktu krajowego brutto przez Główny Urząd Statystyczny. Fakt ten rekompensuje uwzględnienie aktualnej i rzeczywistej pensji pracownika w obliczeniach dla metody bazującej na odszkodowaniach.

Jeżeli należałoby podać jedną wartość parametru alfa, to z powodów podanych powyżej zalecałoby należyć wartość  $\alpha$  wyznaczoną na podstawie odszkodowań, czyli 100 345 zł/Sv. Porównując to z założeniami projektu demontażu belgijskiego reaktora BR3 przedstawionych w pierwszym rozdziale (zgrubne szacunki parametru  $\alpha$  wyniosły 30 €/mSv = 30 000 €/Sv, co wynosi w przybliżeniu 135 000 zł/Sv) i uwzględniając różnice gospodarcze między Belgią a Polską można stwierdzić, że dane uzyskane w pracy, co do wielkości zgadzają się z belgijskimi założeniami.

Oczywiście model LNT nie jest jedynym, który można zastosować do takich obliczeń. Przy pozostałych sprawa wyznaczenia parametru  $\alpha$  nieco się komplikuje, czego najczęstszym powodem jest nieliniowość modelu. Aby ominąć ten problem można spróbować uogólnić definicję parametru  $\alpha$  i za jego wartość przyjąć koszt napromieniowania osoby nie dawką jednego siwerta, ale bardziej ogólnie – dawką o wskazanej wartości.

## 5. Przykłady zastosowania innych modeli ryzyka radiacyjnego do wyznaczania wartości parametru $\alpha$

### A. Model progowy

Model progowy, zwany też progowo-liniowym, jest modyfikacją modelu LNT. Celem tego modelu jest zachowanie prostoty oraz jednoznaczności w określaniu ryzyka powstania zmian nowotworowych w zależności od dawki, którą niesie za sobą model liniowy bezprogowy, przy jednoczesnym uniknięciu jego niezamierzonych konsekwencji. Model ten postuluje dawkę poniżej której promieniowanie jonizujące uznaje się za bezpieczne (takie, które nie powoduje dodatkowego ryzyka powstania zmian nowotworowych). Pozwala to na uniknięcie rozważań nad wprowadzaniem ochrony radiologicznej w sytuacjach, gdy dawka jest nieznaczna (nie przekracza progu) oraz pokazuje opinii publicznej, że zjawisko promieniowania jonizującego jest czymś naturalnym i niegroźnym, oczywiście w pewnych granicach.

Najprościej jest przedstawić zależność ryzyka radiacyjnego od dawki skutecznej przy użyciu układu równań:

$$ERR = \begin{cases} 0 & \text{dla } E < t \\ a(E - t) & \text{dla } E \geq t \end{cases} \quad (4.4)$$

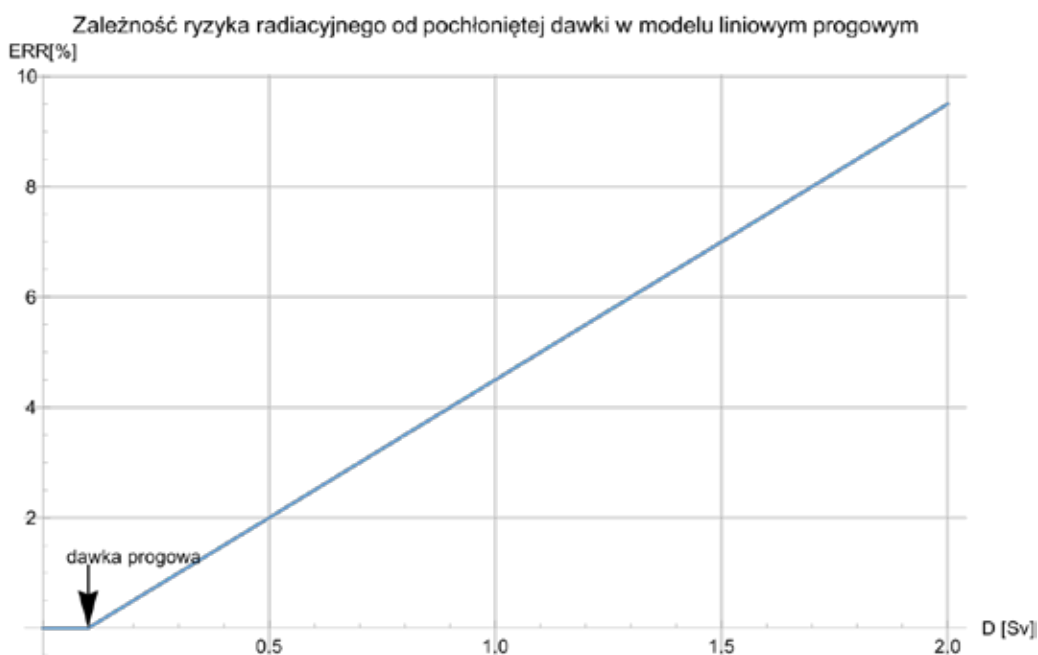
gdzie:

ERR – „excessive relative risk”, dodatkowe ryzyko wystąpienia zmian nowotworowych

$a$  – współczynnik ryzyka (nachylenie prostej nad progiem)

$E$  – dawka skuteczna

$t$  – wartość progu



**Rys. 6.** Wykres zależności ryzyka radiacyjnego w zależności od dawki skutecznej promieniowania jonizującego dla modelu progowego  
**Fig. 6.** Plot of a relationship between excess relative risk and effective dose of ionizing radiation for threshold model

Ponownie wartość współczynnika ryzyka przyjęto jako 5%/Sv [12]. Za wartość progę uznano granicę małych dawek przedstawioną w raporcie kanadyjskiej Narodowej Rady Badań Naukowych (NRC) BEIR VII [14], gdzie podano wartość granicy jako 100 mSv dla promieniowania o niskim LET. LET (z ang. „linear energy transfer” czyli liniowy przekaz energii) opisuje ilość energii jaką cząstka lub foton promieniowania jonizującego przekazuje do otoczenia w pewnej jednostce odległości. Fotony z reguły posiadają niski współczynnik LET, natomiast cząstki alfa lub fragmenty rozszczepień jąder atomowych posiadają wysoki współczynnik LET. Zależność ryzyka radiacyjnego w powyższym modelu ponownie najłatwiej zobrazować wykresem (rys. 6).

Wartości parametru dla tego modelu są identyczne, jak dla modelu LNT (podane w tabeli 3) z jednym bardzo ważnym zastrzeżeniem. Wartości te obowiązują dopiero po przekroczeniu dawki progowej 0,1 Sv i są obliczane za każdy siwert ponad tą dawkę.

### B. Model hormetyczny

Model hormetyczny bazuje na dwóch współczynnikach. Pierwszym z nich jest tzw. PROFAC (skrót od „protection factor”, czyli współczynnik ochrony) opisujący potencjalną redukcję zachorowań na choroby nowotworowe występującą przy danej dawce promieniowania względem grupy kontrolnej wystawionej na hipotetycznie zerowe dawki promieniowania jonizującego. Za wartość PROFAC w modelu hormetycznym uznaje się minimum funkcji ryzyka (wartość odpowiadająca dawce, dla której osiągnane jest maksimum efek-

tu hormezy radiacyjnej). Drugim z nich jest współczynnik NOAEL (ang. „No Observed Adverse Effect Level”). Jest to najwyższy poziom dawki, dla której nie obserwujemy żadnych efektów negatywnych związanych z działaniem promieniowania jonizującego na ciało ludzkie. Współczynnik ten można uznać za odpowiednik progę w modelu progowym.

Jako matematyczny model przedstawiający zależność hormetyczną przyjęto:

$$ERR = \begin{cases} \alpha x^2 - bx & \text{dla } E < \text{NOAEL} \\ a_2(E - \text{NOAEL}) & \text{dla } E \geq \text{NOAEL} \end{cases} \quad (4.7)$$

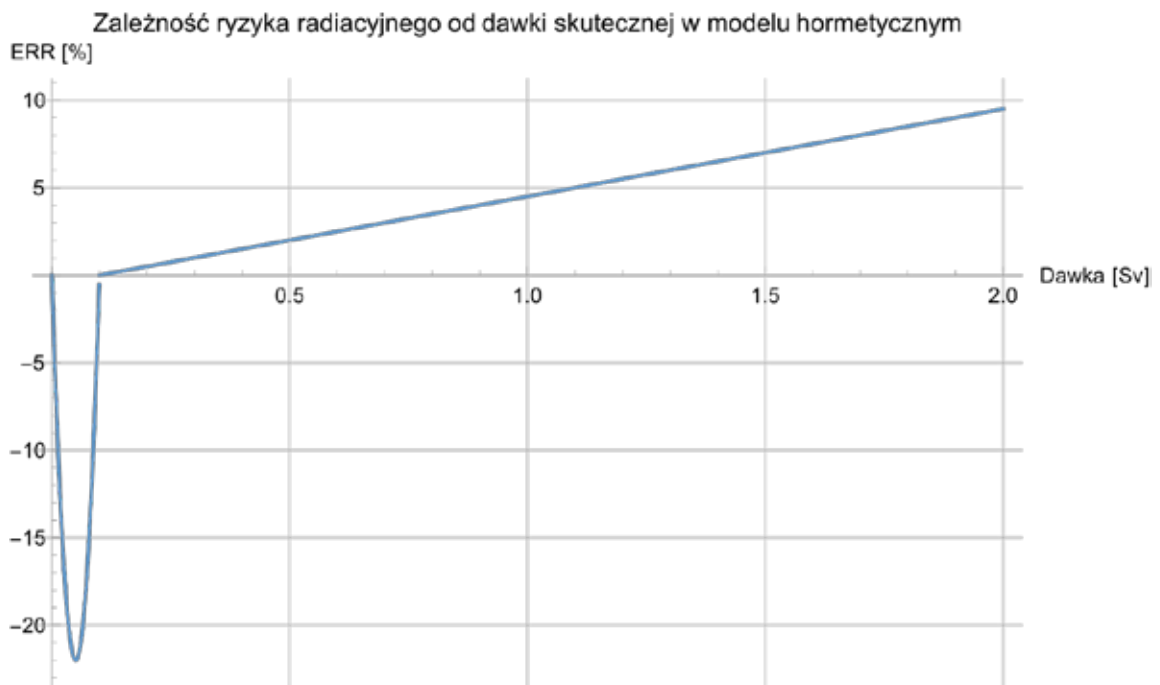
gdzie:

$ERR$  – „excessive relative risk”, dodatkowe ryzyko wystąpienia zmian nowotworowych,  
 $a$ ,  $a_2$ ,  $b$  – współczynniki modelu,  
 $E$  – dawka skuteczna.

Takie podejście pozwala na zamodelowanie efektu hormetycznego oraz zapewnia zgodność wartości ryzyka radiacyjnego z pozostałymi modelami w obszarze wysokich dawek.

Wartość PROFAC przyjęto jako 22%. Wartość ta jest podana w pracy [15], jako potencjalna redukcja śmiertelności wśród pracowników stoczni wystawionych chronicznie na niskie dawki promieniowania. Współczynnik NOAEL ustalono na 0,1 Sv dla zgodności z modelem progowym i podaną w raporcie BEIR VII [14] granicą niskich dawek.

Dla dawek powyżej 0,1 Sv, analogicznie jak w pozostałych modelach, wartość współczynnika  $a_2$  ustalono



**Rys. 7.** Wykres zależności współczynnika ryzyka radiacyjnego od dawki dla modelu hormetycznego. Widoczna jest znaczna dysproporcja pomiędzy zakresem hormetycznym a zakresem dawek większych, co jest to związane z przyjętymi standardowymi parametrami modelu

**Fig. 7.** Plot of a relationship between excess relative risk and effective dose of ionizing radiation for hormetic model. Significant disproportion can be seen between the hormetic range and the higher dose range, however it is caused by assumed standard model parameters

**Tabela 4.** Wartości współczynnika ERR i odpowiadające im wartości parametru  $\alpha$  wyznaczonego różnymi metodami dla przykładowych dawek w modelu hormetycznym.**Table 4.** Values of excess relative risk with corresponding values of a parameter calculated with a use of different methods for example values of doses for hormetic model.

Dawka skuteczna [Sv]	ERR [%]	$\alpha$ – PKB [zł]	$\alpha$ – odszkodowania [zł]	$\alpha$ – WTA [zł]	$\alpha$ – WTP [zł]
0,01	-7,92	-11 727	-24 835	-879 535	-125 648
0,03	-18,48	-27 364	-57 949	-2 052 249	-293 178
0,05	-22,00	-32 576	-68 987	-2 443 153	-349 022
0,08	-14,08	-20 849	-44 152	-1 563 618	-223 374
0,09	-7,92	-11 727	-24 835	-879 535	-125 648
0,1	0,00	0	0	0	0
0,2	0,5	4 738	10 035	355 368	50 767
0,3	1	9 477	20 069	710 736	101 534
0,5	2	18 953	40 138	1 421 470	203 067
0,8	3,5	33 168	70 241	2 457 570	355 368
1	4,5	42 645	90 310	3 198 310	456 901
1,2	5,5	52 122	110 379	3 909 050	558 435
1,5	7	66 337	140 483	4 975 150	710 735
1,8	8,5	80 551	170 586	6 041 250	863 036
2	9,5	90 028	190 655	6 751 990	964 569

na 5%/Sv. W przypadku przedziału niskich dawek wartości współczynników wynoszą

$$a = 8800 \frac{1}{Sv^2} \quad \text{oraz} \quad b = 880 \frac{1}{Sv}$$

Dobór paraboli jako funkcji ryzyka poniżej NOAEL jest motywowany faktem, że jest to najbardziej podstawowa funkcja, której parametry można jednoznacznie określić na podstawie znajomości trzech punktów (w tym PROFAC) przez które funkcja ma przechodzić.

Znając podaną wartość współczynnika PROFAC równą 22% oraz założenia wzrostu ryzyka radiacyjnego w modelu LNT wysokości 5%/Sv można zauważyć znaczącą różnicę między negatywnym wpływem promieniowania założonym w modelu liniowym a pozytywnym wpływem niskich dawek promieniowania w modelu hormetycznym. Wykres przedstawiony na rys. 7 dopiero obrazuje, jak znaczna jest dysproporcja pomiędzy ryzykiem dla dawek niskich (poniżej NOAEL) a wysokich, co jest niepokojące i zmusza do zastanowienia się nad poprawnością takiej zależności.

Podchodząc do tego od strony matematycznej: założona ujemna wartość ryzyka oznacza zmniejszoną zapadalność na różnorakie choroby (głównie nowotwory, lecz nie tylko [15]), co może prowadzić do wzrostu średniej długości życia ludzkiego średnio o 2,5 roku

[16] oraz komfortu życia. Może to mieć również wpływ na obciążenie systemu opieki zdrowotnej danego kraju lub firmy (mniej chorujących osób prowadzi do mniejszych wydatków na opiekę zdrowotną nad nimi) oraz systemu ubezpieczeń zdrowotnych (ponownie mniej chorób oznacza mniej wypłacanych odszkodowań). Ujemny współczynnik ERR prowadzi do uzyskania mniejszej od zera wartości współczynnika  $\alpha$ , czyli uzyskania ujemnych kosztów – materialnego zysku wynikającego z korzyści opisanych powyżej. Są to teoretyczne konsekwencje tak przyjętego modelu.

Z uwagi na wyniki opisane w pracy E. David'a et al. [16], w obszarze dawek poniżej NOAEL przyjęto w równaniu (4.1) współczynnik  $L = -2,5$  roku. W tym przypadku współczynnik powinno się nazwać „średnim wydłużeniem [nie skróceniem] życia wynikającym z wpływu promieniowania”. Powyżej dawki NOAEL przyjmuje się wartość współczynnika  $L = 16$  lat, identycznie jak w modelu LNT. Tak jak w przypadku poprzednich dwóch modeli, w tabeli 4 przedstawiono wartości współczynnika ryzyka radiacyjnego dla przykładowych wartości dawek oraz odpowiadające im wartości współczynnika  $\alpha$  z uwzględnieniem uwagi o wydłużeniu średniej długości życia człowieka w obszarze niskich dawek [16], czyli zmianę wartości parametru  $L$  w zależności od uwzględnianego przedziału dawek.

## Podsumowanie

Istnieje wiele metod wyznaczania parametru  $a$  w ochronie radiologicznej, każda bazująca na innych danych, często bardzo różnych od siebie. Prowadzi to do dyskusji, którą wartość parametru można uznać za najbardziej wiarygodną i jaki model ryzyka radiacyjnego przyjąć przy optymalizacji ochrony radiologicznej. Z rozważanych w artykule metod jedna przejawia największy potencjał do stosowania w praktyce: z uwagi na możliwość dopasowania wyliczeń kosztów do konkretnego ośrodka badawczego lub przedsiębiorstwa, jest nią metoda bazująca na państwowo regulowanych odszkodowaniach. Inną ważną kwestią, nad którą warto się zastanowić to, jaki model ryzyka radiacyjnego uwzględnić przy obliczeniach. Model liniowy bezprogowy stanowi normę, którą należy prawnie stosować w ochronie radiologicznej, lecz widać, że przy zastosowaniu innych modeli niż LNT rozkład wartości parametru  $a$  jest korzystniejszy w zakresie niskich dawek. Niezależnie od dyskusji nad słusnością danego modelu należy podkreślić, iż oszacowany dla Polski parametr alfa wynosi ok. 100 000 zł/Sv. W przypadku modelu LNT i obowiązujących przepisów prawnych stosuje się go do całego zakresu dawek. W przypadku innych modeli niż LNT, parametr ten jest także słuszny, ale jedynie dla dawek powyżej 100 mSv.

*Niniejszy artykuł powstał na bazie pracy inżynierskiej inż. Ernesta Bugały napisanej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej pod opieką dr. inż. Krzysztofa Fornalskiego.*

*Serdeczne podziękowania dla Pani prof. dr hab. Katarzyny Grebieszko z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej za pomoc oraz uwagi edycyjne przy tworzeniu wspomnianej pracy inżynierskiej.*

*Ernest Bugała,  
Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska*

*Krzysztof W. Fornalski,  
Narodowe Centrum Badań Jądrowych oraz PEJ sp. z o.o.  
\* krzysztof.fornalski@ncbj.gov.pl*

## Literatura:

- [1] Ustawa Prawo atomowe z dnia 29 listopada 2000 r., (z późn. zmianami).
- [2] Vermeersch F.: Materiały i prezentacje SCK CEN (belgijskie centrum badań jądrowych) oraz materiały dotyczące SCK CEN udostępnione przez K.W. Fornalskiego.
- [3] Linsheng J., Yapeng Y., Zongyang F., Xiaoxiao X. oraz Jiangang Z.: The latest estimation for the parameter value of radiation protection optimization in China, Progress in Nuclear Science and Technology V.6 2019, 175-180.
- [4] Dane opublikowane przez Główny Urząd Statystyczny: <https://stat.gov.pl/podstawowe-dane/>, dostęp: 9/01/2021.
- [5] Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (IAEA): Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure, Safety Reports Series no. 21, 2002.
- [6] Ustawa Kodeks pracy z dnia 26 czerwca 1974 r., Dziennik Ustaw 2020, poz. 1320.
- [7] Ustawa o emeryturach i rentach z Funduszu Ubezpieczeń Społecznych z dnia 17 grudnia 1998 r., Dziennik Ustaw 2020, poz. 53, 252, 568, 1222, 1578.
- [8] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 czerwca 2009 r. w sprawie chorób zawodowych, Dziennik Ustaw 2013, poz. 1367.
- [9] Obwieszczenie Ministra Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej z dnia 3 marca 2020 r., Monitor Polski 13 marca 2020 r. poz. 279.
- [10] China National Bureau of Statistics: China Statistical Yearbook 2013, 2013.
- [11] Horowitz J.K., McConnell K.E.: A review of WTA/WTP studies, Journal of Environmental Economics and Management, vol. 44, issue 3, 426-447, 2002.
- [12] Publikacja Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej (ICRP): ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, 2007 r.
- [13] Sutou S.: Black rain in Hiroshima: a critique to the Life Span Study of A-bomb survivors, basis of the linear no-threshold model, Genes Environ 42:1, 2020.
- [14] National Research Council: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation: BEIR VII Phase 2, 2006.
- [15] Sanders C.L.: Radiobiology and Radiation Hormesis, New Evidence and its Implications for Medicine and Society, Loveland, Colorado, USA, Springer, 2017.
- [16] David E., Wolfson M., Fraifeld V.E.: Background radiation impacts human longevity and cancer mortality: reconsidering the linear no-threshold paradigm, Biogerontology, 22(2), 189-195, 2021.



## MUZEUM POLITECHNIKI OPOLSKIEJ I LAMP RENTGENOWSKICH

W dniu 8 listopada 2021 r. w auli wykładowej Wydziału Wychowania Fizycznego i Fizjoterapii odbyła się uroczystość związana z 10. rocznicą Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich. Muzeum zainaugurowało działalność dokładnie 8 listopada 2011 r. w 110 lat po przyznaniu Wilhelmowi Rentgenowi pierwszego w historii „Nobla”. Dodatkową okazją było wówczas 45-lecie opolskiej uczelni technicznej. Zlokalizowane na ostatnim piętrze jednego z budynków kampusu politechniki Muzeum dzięki pomocy ówczesnego rektora Jerzego Skubisa pomieściło prywatne zbiory dr. Grzegorza Jezierskiego. W następnych latach kolekcja była uzupełniana o eksponaty z całego świata. Aktualnie organizacyjnie Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich podlega prorektorowi ds. ogólnych i operacyjnych uczelni. Nadzór nad nim sprawuje jedna osoba – Grzegorz Jezierski.

W trakcie uroczystości głos zabrał rektor politechniki dr hab. inż. Marcin Lorenc. Otwierając uroczystość rektor serdecznie przywitał zgromadzonych gości w imieniu swoim i wszystkich pracowników politechniki, podziękował za przybycie m.in. przedstawicielom władz miasta i regionu, pracownikom instytutów badawczych, instytucji państwowych, przemysłu i medycyny szczególnie tym, zawodowo związanym z promieniowaniem rentgenowskim. Wyrazy powitania zostały skierowane do przedstawicieli firm związanych ze sprzedażą i serwisowaniem urządzeń rentgenowskich, przedstawicieli zaprzyjaźnionym z muzeum z różnych stron kraju. O historii zbiorów i muzeum opowiedział w krótkim wykładzie jego kustosz dr Grzegorz Jezierski. Podziękowano osobom zasłużonym dla Muzeum.



**Fot. 2.** Stanisław Latek redaktor naczelny „Postępów Techniki Jądrowej” gratuluje Grzegorzowi Jezierskiemu (fot. PO)

Głos zabrali także przybyli z całej Polski goście. Odczytano listy gratulacyjne, które nadeszły z całego świata. Uroczystość uświetnił koncert muzyczny. Przed budynkiem muzeum odsłonięto tablicę pamiątkową. Na koniec przy kawie i ciastkach można było zwiedzić muzeum i zadawać pytania jego kustoszowi dr Grzegorzowi Jezierskiemu.

Gratulacje rektorowi uczelni i osobiście Grzegorzowi Jezierskiemu złożył również w imieniu wydawcy Redaktor Naczelny PTJ dr Stanisław Latek. Wyraził uznanie dla wspaniałej kolekcji i podziękował za promocję na łamach kwartalnika Postępy Techniki Jądrowej wiedzy i historii i zastosowaniach współczesnych promieniowania rentgenowskiego.

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



**Fot.1.** Uczestnicy spotkania słuchają wystąpienia Grzegorza Jezierskiego (fot. PO)



## KGHM STAWIA NA MAŁE REAKTORY JĄDROWE

W gmachu Giełdy Papierów Wartościowych w Warszawie odbyła się uroczystość podpisania umowy między Zarządem KGHM Polska Miedź S.A. oraz firmami: NuScale Power LLC i PBE Molecule w sprawie przygotowań do budowy małych reaktorów jądrowych (SMR). Porozumienie ma na celu zastąpienie istniejących turbin węglowych poprzez nowe źródła energii jądrowej w formie SMR o mocy 77 MW. Podpisana w dniu 23 września 2021 r. umowa będzie obowiązywać do 23 września 2024 r. W ramach współpracy planowane jest



Fot. 1. Podpisanie porozumienia w sprawie budowy małych reaktorów jądrowych (fot. KGHM)

opracowanie i wybudowanie 4 małych modułowych reaktorów nuklearnych SMR, z opcją aż do 12 (o mocy zainstalowanej około 1GW). To będzie potencjalnie największa tego typu instalacja na świecie. Realizacja projektu przewidziana jest do końca 2030 r., przy czym Spółka zakłada, że pierwszy z reaktorów nuklearnych zacznie funkcjonować w 2029 r. KGHM Polska Miedź będzie nie tylko odbiorcą gotowego rozwiązania, ale weźmie również udział w rozwoju technologii SMR. Marcin Chłudziński, Prezes Zarządu KGHM Polska Miedź S.A. zakłada, że SMR-y nie tylko pomogą dbać o środowisko, ale również znacząco obniżą koszty prowadzenia biznesu. Firma w ten sposób zamierza wesprzeć zieloną transformację Polski i obniżyć koszty gospodarstwu domowemu. John Hopkins, prezes i dyrektor generalny NuScale Power powiedział, że jest zachwycony możliwością współpracy z KGHM i PBE. Odstąpienie od starzejących się elektrowni węglowych prowadzi do zmian w przetwarzaniu energii oraz tworzy nowe potrzeby infrastrukturalne i miejsca pracy. Technologia małych reaktorów modułowych jest idealnym, elastycznym i czystym rozwiązaniem problemu potrzeb energetycznych i modernizacji elektrowni opalanych węglem. Zakłada się zachowanie i przeszkolenie wykwalifikowanej kadry elektrowni w Polsce.

Firma NuScale Power opracowała nową, modułową elektrownię jądrową z reaktorem lekkowodnym, która

dostarcza energię do wytwarzania energii elektrycznej, ciepłownictwa, odsalania, produkcji wodoru i innych zastosowań związanych z ciepłem procesowym. Ten przemysłowy projekt małego reaktora modułowego (SMR) zawiera w pełni fabrykowany moduł NuScale Power Module™ zdolny do generowania 77 MW energii elektrycznej przy użyciu bezpieczniejszej, mniejszej i skalowalnej wersji technologii reaktora ciśnieniowego. Skalowalna konstrukcja NuScale — elektrownie, które mogą pomieścić do czterech, sześciu lub 12 pojedynczych modułów zasilania — oferuje korzyści płynące z energii bezemisyjnej i zmniejsza zobowiązania finansowe związane z obiektami jądrowymi o wielkości gigawatów.

Piela Business Engineering jest polską firmą konsultingową świadczącą usługi doradztwa strategicznego, operacyjnego, inżynierskiego oraz regulacyjnego, skupiającą swoją działalność przede wszystkim na sektorach energetycznym i chemicznym. Eksperti PBE od ponad 20 lat uczestniczą w procesach związanych z transformacją klimatyczno-energetyczną oraz wdrażaniem gospodarki o obiegu zamkniętym, świadcząc usługi dla rządów, instytucji finansowych, regulatorów i przedsiębiorstw w Polsce i za granicą.

Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa

## RADIACYJNA STERYLIZACJA OPAKOWAŃ



Pod hasłem „Packaging Innovations” odbyły się w Warszawie w dniach 15-16 września 13. Międzynarodowe Targi Opakowań. Oferta wystawiennicza skierowana była do zakładów produkcyjnych, sieci handlowych oraz przedsiębiorców poszukujących nowych opakowań dla swoich produktów. Jednym z celów wydarzenia było propagowanie innowacyjnych trendów dostępnych na rynku rozwiązań oraz prezentacja najbardziej interesujących wdrożeń. W tym kontekście przewijały się również tematy radiacyjnej sterylizacji wyrobów medycznych i kosmetycznych oraz konserwacji ziół, przypraw ziołowych, żywności oraz suplementów diety. Jak wiadomo warunkiem zachowania jakości wyrobów jest użycie odpowiedniego opakowania. Promieniowanie jonizujące nie wymaga w odróżnieniu od metod gazowych materiałów półprzepuszczalnych i dlatego zapewnia dłuższe terminy sterylności. Potrzeba badań w tej dziedzinie jest stale aktualna w związku z pojawianiem się innowacyjnych, zwłaszcza biodegradowalnych tworzyw oraz nowych uwarunkowań prawnych. O ile do tej pory poszukiwano głównie polimerów odpornych radiacyjnie to obecnie bada się

możliwości wykorzystania promieniowania jonizującego do skrócenia czasu biodegradacji opakowań.

Istotne zagadnienia dotyczące ochrony środowiska w branży przetwórstwa tworzyw sztucznych reguluje dyrektywa 94/62/WE w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych. Zgodnie z nią gospodarka opakowaniami i odpadami z opakowań powinna uwzględniać wymagania ekologiczne stawiane przed krajami członkowskimi. Z drugiej strony nie może stwarzać przeszkód we wzajemnej wymianie handlowej między krajami UE. W dyrektywie 94/62/WE założono odzysk opakowań na poziomie 50-65% (wagowo) opakowań oraz recykling 50-65% (wagowo) tej ilości. Zagadnienie radiacyjnej modyfikacji polimerów stanowi raczej niszowy, ale nadal innowacyjny temat.

W związku z pandemią zakaźnej choroby COVID-19 wywoływanej przez koronawirusa SARS-CoV-2 producenci wyrobów medycznych coraz częściej wykorzystują unikatową możliwość wyjaławiania za pomocą promieniowania jonizującego materiału w całej objętości w opakowaniu jednostkowym i zbiorczym. W praktyce może, bowiem zdarzyć się tak, że w zasadzie jałowy wyrób zostanie zakażony w czasie konfekcjonowania (pakowania w kartony lub pudła zbiorcze). Technologia radiacyjna, jako jedyna pozwala wyeliminować to zagrożenie. Przykładem mogą być buteleczki z tworzyw polimerowych, które po uformowaniu w temperaturze powyżej 200 °C są sterylne. Trudno jednak wyeliminować ryzyka ich zakażenia w trakcie pakowania przed transportem do producenta wyrobu końcowego. Napromieniowanie ich w szczelnych zgrzewkach wiązką elektronów daje gwarancję, że dostarczone zostaną np. do wytwórców farmaceutyków lub kosmetyków w stanie jałowym.

Istotne znaczenie w produkcji opakowań mają również etykiety i różnego rodzaju nalepki. Są one również wyjaławiane w procesie sterylizacji radiacyjnej. Modyfikacji może wówczas ulec klej samoprzylepny. Synteza kleju nie jest wcale banalna, a utrzymanie właściwej proporcji między kohezją, adhezją i lepkością bardzo trudne. Adhezja odpowiada za dobrą przyczepność. Kohezja, czyli spójność wewnętrzna powoduje, że wyrób nie pozostaje na wyrobie po oderwaniu etykiety. Oba parametry są wzajemnie odwrotnie proporcjonalne. Inaczej mówiąc, jak rośnie adhezja to maleje kohezja i odwrotnie. Lepność to parametr dynamiczny decydujący o szybkości, z jaką klej połączy nalepkę i opakowanie. Historycznie kleje, które ze względu na zbyt małą adhezję nie nadawały się do produkcji plastrów medycznych, jako w pewnym sensie technologiczny bubel ekologicznie wykorzystywano do produkcji samoprzylepnych papierków. Te raczej słabo trzymały się powierzchni, ale jej nie brudziły. Obecnie produkcja nalepek to osobna istotna dziedzina przemysłu opakowaniowego. Ogólnie można powiedzieć, że obróbka radiacyjna powoduje sieciowanie kleju zwiększając jego kohezję. Zmieniać w ten sposób mo-

żemy parametry kleju w szerokim zakresie, co nie jest możliwe metodami chemicznymi. Zsyntetyzowanego kleju nie da się już chemicznie poprawić. Nim zaczęto produkcję wyrobów samoprzylepnych „nietrafiony” klej był po prostu niewygodnym odpadem. Radiacyjną modyfikację kohezji można w praktyce połączyć z zabiegiem sterylizacji.

Obróbka radiacyjna pozwala również na zmianę barwy opakowań szklanych. Jak to jest możliwe? Wybite w wyniku jonizacji elektrony są częściowo pułapowane. Pochłaniają one światło w zakresie widzialnym zmieniając barwę szkła od żółtej do praktycznie czarnej. Dodatkowe efekty uzyskuje się napromieniowując szkło barwione chemicznie. Uwięzione w pułapkach energetycznych elektrony z czasem są uwalniane i barwa powoli wraca do postaci pierwotnej. Efekt taki jest poszukiwany przez producentów perfum lub wyjątkowych kosmetyków. Oferuje się wówczas wyrób, który każdego miesiąca nieco inaczej wygląda. Można ewentualnie tak dobrać czas tej przemiany, aby zbiegł się z okresem terminu przydatności. Obróbka radiacyjna szkła daje również nieograniczone możliwości projektantom i artystom plastynom.

W rozmowach targowych bardzo pomocne okazały się materiały informacyjne na temat sterylizacji radia-



Fot. 1. Przykłady opakowań z tworzyw polimerowych badanych pod kątem radiacyjnej modyfikacji w procesie sterylizacji (fot. IChTJ)

cyjnej przygotowane przez Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w ramach współpracy z CEI (Central European Initiative).

Wojciech Głuszewski,  
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,  
Warszawa



## POWOŁANIE NOWEJ SPÓŁKI IDEAS NCBR

IDEAS NCBR sp. z o.o. to ośrodek badawczo-rozwojowy działający w obszarze sztucznej inteligencji i ekonomii cyfrowej, którego misją jest wsparcie rozwoju tych technologii w Polsce, poprzez stworzenie platformy

łączącej środowisko akademickie z biznesowym. Spółka powołana została przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju i należy do Grupy NCBR.

Jej celem jest zbudowanie największej w Polsce przestrzeni przyjaznej prowadzeniu innowacyjnych badań, a także kształcenie nowego pokolenia naukowców, ukierunkowanych na praktyczne zastosowanie opracowanych algorytmów oraz ich późniejszą komercjalizację w przemyśle, finansach, medycynie i innych gałęziach gospodarki.

Najwyższy poziom merytoryczny realizowanych projektów gwarantuje możliwość współpracy z naukowcami o światowym autorytecie. Radę naukową tworzy międzynarodowe grono ekspertów z takich uczelni jak: MIT, University of Oxford, University of Columbia czy Fraunhofer Heinrich Hertz Institute. W pierwszej kolejności utworzone zostały grupy robocze, które będą pracować nad inteligentnymi algorytmami i strukturami danych oraz cyfrowymi walutami i inteligentnymi kontraktami. Liderami prowadzonych badań są prof. UW Piotr Sankowski związany z Instytutem Informatyki Wydziału Matematyki, Informatyki i Mechaniki Uniwersytetu Warszawskiego oraz prof. Stefan Dziembowski, który również wykłada na tym wydziale.

„Zależy nam na tym, żeby prace badawcze dotyczyły technologii przyszłości, takich, które wejdą w życie dopiero za kilka lat, ale z drugiej strony adresowały realne potrzeby, które są odpowiedzią na wyzwania społeczne oraz różnych sektorów gospodarki. Będziemy podejmować się ambitnych wyzwań, których rozwiązania często nie mogą się podjąć przedsiębiorstwa, ponieważ prace

obarczone są ryzykiem. W ocenie potencjału projektów badawczych wesprze nas rada naukowa, która składa się z wybitnych ekspertów” – tłumaczył prof. UW Piotr Sankowski, prezes zarządu IDEAS NCBR.

Celem spółki IDEAS NCBR jest zwiększenie potencjału badawczo-rozwojowego i innowacyjnego w obszarze sztucznej inteligencji i cyfrowej ekonomii. IDEAS NCBR dbać będzie o podniesienie poziomu kompetencji kadry naukowej i zwiększenie liczby prac naukowych i rozwojowych, przede wszystkim dotyczących tematyki sztucznej inteligencji. Istotnym obszarem działalności spółki będzie także rozwijanie współpracy naukowców z biznesem oraz komercjalizacja wyników realizowanych projektów poprzez współtworzenie spółek spin-off. Będą one mogły liczyć na dalsze wsparcie ze strony NCBR za pomocą wielu narzędzi zawartych w portfolio działań Centrum” – mówił dr inż. Wojciech Kamieniecki, dyrektor Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

„To, co wyróżnia IDEAS NCBR, to podejście do prowadzonych badań i ich selekcja. Algorytmy, które będziemy tworzyć, mają wysokie prawdopodobieństwo wdrożenia, a tym samym komercjalizacji projektu. To korzyść zarówno dla biznesu, jak i zaangażowanych w dany projekt naukowców, którzy będą czerpać korzyści z wyników badań w postaci praw autorskich lub też tworzonych spółek typu spin off” – dodał Piotr Sankowski.

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



## KLUCZOWY PUNKT WIDZENIA NA COP26 W POSTRZEGANIU ENERGII JĄDROWEJ 19 listopada 2021

Obietnice złożone podczas konferencji klimatycznej COP26 pokazują, że rządy są zaangażowane w ograniczanie wzrostu globalnej temperatury, przemysł jądrowy jest gotowy do odegrania swojej roli w osiągnięciu tych celów, mówi dyrektor generalna Światowego Stowarzyszenia Jądrowego Sama Bilbao y León.

„Teraz, gdy opadł kurz na konferencji klimatycznej COP26 w Glasgow, chciałam podzielić się przemyśleniami na temat tego, co wydarzyło się w ciągu tych dwóch tygodni i co to oznacza dla przyszłości.

Myślę, że widzieliśmy, jak rządy zobowiązały się do osiągnięcia celu ograniczenia wzrostu temperatury na świecie do 1,5° C, chociaż przyrzeczenia złożone przez rządy w Glasgow nadal nie ograniczą zmian klimatycz-



**Fot. 1.** Dyrektor generalna Światowego Stowarzyszenia Jądrowego Sama Bilbao y León (fot. WNN)

nych do mniej niż 2° C, nie mówiąc już o 1,5. Być może nie zrobili jeszcze wystarczająco dużo.

Światowy przemysł jądrowy, jako jeden z głównych dostawców całodobowej czystej, niskoemisyjnej energii, jest przygotowany do odegrania swojej roli w realizacji wzrostu wymogów klimatycznych, który poruszono na COP26.



Istotnym wydarzeniem konferencji, było wezwanie stron do „wycyfywania” wykorzystania energii węglowej i wycyfywania nieefektywnych dotacji na paliwa kopalne. Po raz pierwszy w porozumieniu COP wspomniano o paliwach kopalnych, a w szczególności o węglu.

Ale równie ważne i mało opisywane było to, co w *Pakcie Klimatycznym Glasgow*, zapowiedziano o tym, co kraje powinny zrobić, aby zastąpić paliwa kopalne. Przyjęto podejście neutralne pod względem technologicznym. Wezwano Strony do przyspieszenia rozwoju, wdrażania i rozpowszechniania technologii oraz przyjmowania polityk w celu przejścia na niskoemisyjne systemy energetyczne, w tym poprzez szybkie zwiększenie wykorzystania czystej energii.

Energia jądrowa to wytwarzanie czystej energii i musi odgrywać znacznie większą rolę, jeśli mamy odnieść sukces w umieszczeniu węgla – i gazu – w podrecznikach historii, co z pewnością musimy zrobić.

Na początku widzieliśmy, jak koalicje rządowe ogłosiły zobowiązania, które wykraczają daleko poza to, co uzgodniono wspólnie na COP, w takich tematach, jak ochrona lasów, wycyfywanie pojazdów benzynowych i wysokoprężnych oraz redukcja emisji metanu. A 190-osobowa koalicja krajów i organizacji wykroczyła poza ostateczne porozumienie COP26, ogłaszając zobowiązania do stopniowego wycyfywania się z energetyki węglowej.

W negocjacjach COP26 poczyniono również postępy w zakresie finansów. Jest to kluczowa kwestia do przejścia na czystą energię. Zobowiązania rządowe o wartości miliardów dolarów na łagodzenie skutków lub adaptację będą się liczyć na niewiele, jeśli nie zostaną stworzone ramy umożliwiające mobilizację tych środków. Dotyczy to nie tylko miliardów obiecanych przez rządy, ale także bilionów dolarów zaangażowanych w finansowanie prywatne.

Pod wieloma względami przyszłe spotkania COP nie będą już miejscem spotkań rządów, aby wspólnie decy-

dować o tym, co zamierzają zrobić, ale będą miejscem, w którym rządy składają sprawozdania z tego, co każdy z nich zrobił i co każdy z nich planuje zrobić.

Wielka Brytania, Francja, USA i Rumunia zobowiązały się do opracowania nowej generacji reaktorów jądrowych, zwiększając główny wkład obecnej generacji reaktorów, które produkują czystą, niskoemisyjną energię od ponad 60 lat. Do tej pory elektrownie pomogły uniknąć emisji ponad 70 miliardów ton dwutlenku węgla. A dzisiaj reaktory jądrowe wytwarzają ponad jedną czwartą światowej energii elektrycznej o niskiej emisji dwutlenku węgla.

Należy zmaksymalizować wkład, jaki może dostarczyć istniejący zasób czystej energii, a także realizować ambitne plany szybkiej ekspansji światowej produkcji jądrowej.

Chociaż uczestniczyłam wcześniej w wielu COP, to był mój pierwszy COP reprezentujący Światowe Stowarzyszenie Jądrowe i światowy przemysł jądrowy. Byłam zachwycona, że miałam okazję przemawiać na tak wielu wydarzeniach prowadzących do tego, aby głos energii jądrowej był słyszalny.

Na tym COP nastąpiła zmiana w postrzeganiu energii jądrowej. Przede wszystkim pozytywne zapowiedzi polityczne ze strony rządów.

Szczególne uwagi zwrócono na Egipt i COP27, by w listopadzie przyszłego roku, nadal kontaktować się i współpracować z firmami członkowskimi, innymi stowarzyszeniami jądrowymi, i przedsiębiorstwami zajmującymi się czystą energią, społecznością finansową, związkami zawodowymi, rządami i organizacjami pozarządowymi, aby zapewnić, że energia jądrowa może w pełni odegrać swoją rolę w dążeniu do w przyszłości czystej energii”.

Opracował Stanisław Latek  
na podstawie <https://www.world-nuclear-news>

## 10-LECIE MUZEUM POLITECHNIKI OPOLSKIEJ I LAMP RENTGENOWSKICH

W tym roku dokładnie 8 listopada przypada 10-ta rocznica utworzenia na Politechnice Opolskiej **Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich**. Warto, więc przybliżyć czytelnikom Postępów Techniki Jądrowej historię i stan obecny tegoż muzeum.

Początek zbierania lamp rentgenowskich miał miejsce w 2005 r., kiedy to w moim posiadaniu znalazły się przypadkowo dwie pierwsze lampy rentgenowskie od aparatu przemysłowego typu Super Liliput. Kolejne trzy lampy rentgenowskie (przekazane w całości zamiast



Fot. 1. Grzegorz Jezierski z biżniczą lampą rentgenowską, która obecnie jest wykorzystywana w badaniach Marsa przez NASA (fot. S. Dubiel)

samego okienka berylowego, którego to materiału poszukiwałem dla zademonstrowania go studentom na wykładzie z materiałoznawstwa) przez Sławomira Józwiaka z firmy NDT System z Warszawy stanowiły niejako impuls do gromadzenia lamp rentgenowskich. I tak się zaczęło. Powstawała „**Kolekcja Lamp Rentgenowskich**”. Gromadzone lampy rentgenowskie były umieszczane na półkach, większe, cięższe kołpaki, głowice bezpośrednio na podłodze **w garażu** przy ul. Akacjowej 22 w Czarnowasach k/Opola. Od samego początku zrodziła się koncepcja docelowego utworzenia „**Muzeum Lamp Rentgenowskich**” przy Politechnice Opolskiej, na co ówczesny rektor politechniki prof. dr hab. inż. Jerzy Skubis wyraził wstępną zgodę. Aczkolwiek początkowym zamiarem było gromadzenie samych lamp rentgenowskich, kołpaków, głowic czy kompletnych aparatów rentgenowskich, to z czasem zbiór zaczął powiększać się o inne obiekty, jak np. kolimatory oraz mierniki, detektory promieniowania rentgenowskiego, układy ogniskujące promieniowanie rentgenowskie, kamery rentgenowskie wzmacniacze obrazu rentgenowskiego, zespoły katodowe i anodowe wyposażenie ochronne przed promieniowaniem rentgenowskim (okulary, rękawice, fartuchy), a także literaturę dotyczącą promieniowania rentgenowskiego.

Uroczystość oficjalnego otwarcia Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich miała **miejsce 8 listopada 2011 r.**, w ramach obchodów 45-lecia uczelni, co zbiegło się ze 110 rocznicą przyznania pierwszej Nagrody Nobla właśnie Wilhelmowi Rentgenowi.



**Fot. 3.** Tablica upamiętniająca rok założenia Muzeum (od lewej dr Grzegorz Jezierski, rektor prof. Marcin Lorenc, były rektor uczelni prof. Jerzy Skubis (fot. S. Dubiel)

Kolekcja lamp rentgenowskich obejmuje następujące działy:

1. Zbiór lamp i aparatów rentgenowskich stosowanych w medycynie,
2. Zbiór lamp i aparatów rentgenowskich stosowanych w przemyśle,
3. Zbiór lamp i aparatów rentgenowskich stosowanych w dyfrakcji,

4. Zbiór lamp i aparatów rentgenowskich stosowanych w fluorescencji,
5. Wybrane elementy chłodzenia lamp rentgenowskich,
6. Ekspozyty związane z detekcją promieniowania rentgenowskiego,
7. Ekspozyty związane z ochroną przed promieniowaniem rentgenowskim,
8. Wzmacniacze obrazu rentgenowskiego, kamery i in.,
9. Elementy akceleratorów cząstek: akceleratora liniowego oraz betatronu,
10. Kamery (goniometry) do dyfrakcji rentgenowskiej,
11. Literatura dotycząca promieniowania rentgenowskiego,
12. Różne, tj. związane z promieniowaniem rentgenowskim jak np. walory filatelistyczne, medale, dokumenty i in.



**Fot. 4.** Fotografia artystyczna żonkili (fot. Chris Thorn)

Uzupełnieniem kolekcji lamp rentgenowskich są fotografie artystyczne kwiatów, muszli, ryb itp. wykonane przy użyciu promieniowania rentgenowskiego przez autorów takich jak: David Arky (USA), Peter Dezeley (Wielka Brytania), Don Dudenbostel (USA), Bert Myers (USA), Werner Schuster (Austria), Joanna Stoga (Polska), Thad Thomas (USA), Chris Thorn (Wielka Brytania) i Nick Veasey (Wielka Brytania), Leslie Wright (Wielka Brytania) oraz polskiej artystki z Wrocławia Joanny Stoga.

Lampy rentgenowskie wchodzące w skład kolekcji pochodzą od następujących producentów (w układzie alfabetycznym): AEG, AGH/Lamina, Amptek, ARL, AXT, Bede Scientific Instruments, Brand X-ray, Bruker AXS, C.E.I., Compagnie Generale de Radiologie (CGR), Chirana, C.H.F. Müller, Comet, Crisa, Dunlee, EA, Eimac, Eureka, General Electric, Golden Engineering, Hamamatsu, Horiba, I.A.E., Ital Structures, Kailong, Leybold-Heraeus, Lohmann, Machlett, Meta, Moxtek, Nago, Neutron Division, Nonius, Oxford Instruments, PANalytical, Petrick, Philips, Phönix, Prevac, PROTO Manufacturing, Rigaku, Ritter, Rörich, RTW, SANDT, Scandiflash, Schönander, Seifert, Shimadzu, Siemens, SPECS Scientific Instruments, STOE, Superior X-RAY Tube, Svetlana, TEL-Atomic, Telefunken, Thales, ThermoFischer Scientific, Thomson, Toshiba, Trophy, TruFocus, Tubix, Varian, Yxlon, X-TECH, X-RAY WorX.

Część z tych producentów lamp już nie funkcjonuje na obecnym rynku, inne uległy przekształceniom. Większość lamp to lampy powojenne, głównie szklane. Nowsze czy współczesne lampy to najczęściej lampy metalowo-ceramiczne. Oczywiście wiele z tych lamp powtarza się w kolekcji, wiele lamp jest niewiadomego pochodzenia. W ostatnich latach pojawiają się coraz częściej lampy rentgenowskie rozbieralne, stąd też w kolekcji znajdują się wymienne elementy czy zespoły tych lamp.

Należy zaznaczyć, iż w Polsce nie produkowano samych lamp rentgenowskich poza próbami, jakie miały miejsce jeszcze przed II wojną światową, kiedy to w 1934 r. Zygmunt Lisiecki (1893-1957) otworzył w Warszawie (Aleje Jeruzolimskie 117) pierwszą polską fabrykę lamp rentgenowskich pod nazwą *Rurix*. Lisiecki współpracował wówczas z prof. Januszem Groszkowskim (1898-1984), specjalistą od techniki próżniowej, późniejszym prezesem Polskiej Akademii Nauk. W tym miejscu warto odnotować fakt, iż w 1917 r. Groszkowski, jako jeszcze student IV semestru opublikował w czasopiśmie *Koła Mechaników* swój pierwszy artykuł pt; „*Radiograficzne metody badania metali*”. Fabryka *Rurix* produkowała różne rodzaje lamp rentgenowskich zarówno do celów diagnostycznych, jak i terapeutycznych. Lamp tych używano np. w Zakładzie Radiologii prowadzonym przez doc. Witolda Zawadowskiego (1888-1981) w Szpitalu Ujazdowskim, w Instytucie Radowym im. Marii Skłodowskiej-Curie i w Szpitalu na Czystem w Warszawie oraz w wielu gabinetach prywatnych. Firma *Rurix* tuż przed drugą wojną światową ogłosiła swoją upadłość. Niestety, nie zachowały się żadne lampy rentgenowskie tejże firmy, jak i brak jakiegokolwiek dokumentacji na ich temat. Wprawdzie udało mi się nawiązać kontakt z synem właściciela firmy *Rurix* tj. z Jerzym Lisieckim, który przekazał do naszego muzeum m.in. wiele lamp rentgenowskich po swoim ojcu, ale nie było wśród nich lampy z firmy *Rurix*. Na uwagę zasługują natomiast przekazane lampy i kenotrony mało znanej szwedzkiej firmy *Schönander* ze Sztokholmu, która podobnie jak firma *Rurix* szybko uległa upadłości.

Należy jednakże przypomnieć, iż zapomniany polski fizyk Juliusz Lilienfeld (ur. we Lwowie 1881-1963 r.) był prekursorem właściwej lampy rentgenowskiej. Pracujący na Uniwersytecie w Lipsku J. Lilienfeld opracował w 1914 r. po raz pierwszy lampę rentgenowską z emisją elektronów z gorącej spirali. Lampa konstrukcji Lilienfelda stanowiła etap pośredni pomiędzy stosowanymi wcześniej lampami gazowanymi z zimną katodą a lampą próżniową z gorącą katodą – tj. lampą Coolidge'a<sup>1</sup>. Jednakże dość skomplikowana konstrukcja i kłopoty podczas eksploatacji tej lampy spowodowały, że nie została ona rozpowszechniona i została wyparta przez prostsze i pewniejsze w działaniu lampy dwuelektrodowe Coolidge'a. Juliusz Lilienfeld budując wiele różnych lamp rentgenowskich i patentując je, popadł nawet w konflikt z W. Coolidge'm. Sukces lampy Coolidge'a wynikał także z tego, że lampa ta powstawała we współdziałaniu środowisk naukowych i przemysłowych (dr W. Coolidge był w tym czasie kierownikiem Laboratorium Badawczego znanej firmy *General Electric*), podczas gdy prof. J. Lilienfeld funkcjonował z dala od środowisk przemysłowych i biznesowych. Jedyną taką lampę w Polsce zidentyfikowałem w Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie – zob. na okładce.

W latach 70. ubiegłego wieku były również podejmowane w Polsce próby wytworzenia rentgenowskich źródeł do zastosowań we fluorescencji rentgenowskiej. Między innymi na zlecenie **Akademii Górniczo-Hutniczej** w Krakowie wykonano w dawnych zakładach „*Unitra-Lamina*” w Piasecznie pojedyncze egzemplarze lamp rentgenowskich. Były to lampy z grubszą anodą transmisyjną (Mo, Cu), stanowiącą równocześnie filtr promienionowania. Ponieważ wzbudzano linie K<sup>2</sup> tych pierwiastków, więc napięcia anodowe były w zakresie 10-32 kV. Jako źródło elektronów wykorzystano w tych lampach działło elektronowe z czarno-białego kineskopu telewizora.

Zgłoszone zostały m.in. cztery patenty dotyczące lamp rentgenowskich:

1. „*Rentgenowska lampa rozbieralna do analizy spektralnej i strukturalnej*” – 38 098 z 1954 r., Zbigniew Bojarski (1921-2010) i Zbigniew Ziolkowski (Instytut Metalurgii żelaza w Gliwicach),
2. „*Miniaturowa lampa rentgenowska*” – 106 760 z 1980 r., Wiesław Zaraska, Antoni Starzec, Jacek Miłoś, (AGH w Krakowie),
3. „*Lampa rentgenowska małej mocy*” – 118 293 z 1982 r. Jerzy Massalski, Wiesław Zaraska (AGH w Krakowie),
4. „*Lampa rentgenowska małej mocy*” – 119 719 z 1983 r., Jerzy Massalski, Wiesław Zaraska (AGH w Krakowie).

<sup>1</sup> Wiliam Coolidge (1873-1975) amerykański wynalazca, „ojciec” lampy rentgenowskiej, autor 83 patentów dot. konstrukcji lampy rtg.

<sup>2</sup> Serią linii K przyjęto nazywać monoenergetyczne promienionowanie rentgenowskie, będące wynikiem przejścia elektronu z powłoki wyższej (bardziej oddalonej od jądra atomu) na powłokę K, tj. najbliższą jądra.

W muzeum znajdują się liczne egzemplarze tych lamp. Ponadto do unikalnych eksponatów polskich lamp rentgenowskich zaliczyć należy także impulsowe lampy rentgenowskie, które budowano w **Instytucie Fizyki Plazmy i Mikrosyntezy** w Warszawie w związku z realizacją badań nad kontrolowaną mikrosyntezą termojądrową prowadzonymi przez wybitnego specjalistę w tej dziedzinie prof. Sylwestra Kaliskiego (1925-1978).

Ponadto w muzeum znajduje się lampa rentgenowska do celów edukacyjnych wyprodukowana przez **„Spółdzielnię Pracy Radiotechnika – Wrocław”**.

Ze współczesnych osiągnięć w zakresie źródeł promieniowania X warto odnotować fakt, iż w dawnym **Instytucie Problemów Jądrowych** w Świerku jest wytwarzana tzw. igła fotonowa, stosowana w brachyterapii guzów nowotworowych, która jest niczym innym jak lampą rentgenowską z wydłużoną anodą. Napięcie anodowe jest regulowane w zakresie 5÷40 kV, a prąd anodowy w zakresie 0÷40  $\mu$ A. Zastosowanie igły fotonowej w medycynie zmniejsza narażenie pacjenta na infekcje i obniża koszty leczenia. Tylko trzy firmy na świecie produkują tego typu źródła promieniowania rentgenowskiego (Niemcy, Japonia, Stany Zjednoczone).

Jeśli chodzi o same aparaty rentgenowskie dla medycyny to produkowano je w Polsce zarówno przed II wojną światową jak i po wojnie. Nie produkowano natomiast aparatów rentgenowskich dla przemysłu, czy też dyfraktometrów, poza pewnymi pojedynczymi urządzeniami budowanymi pod kierunkiem prof. Juliana J. Auleytnera (1922-2003) w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie.

Wśród licznych przedwojennych producentów aparatury rentgenowskiej w muzeum znajdują się tylko dwa cenne eksponaty, tj.:

1. aparat rentgenowski z 1943 r. na 80 kV, 40-50 mA, firmy **„Warsztat Elektromechaniczny i Elektromedyczny – Cz. Skirucha”** – Warszawa, ul. Złota 60 (obecnie teren Złotych Tarasów),
2. aparat rentgenowski firmy **„Aparaty i Instrumenty Lekarskie „Helio term”,** Lwów, ul. Akademicka 7 (aparaturę elektryczną i pomiarową wykonała firma „F. Reiner & Co.” z Wiednia).

Niestety nie udało pozyskać się cennego aparatu produkcji polskiej typ XDG/90/30” z 1951 r. firmy „Zakłady Wytwórcze Urządzeń Elektronowych T-12” (Wareł – Warszawa) jak również aparatu typ 8503 firmy „Fabryka Aparatów Elektrycznych K. Szpotański i Ska” z 1939 r. (był używany m.in. do prześwietleń na FIS w Zakopanem) – znajduje się on w Muzeum Techniki w Warszawie.

Jeśli chodzi o okres powojenny to w 1953 r. powołano **Fabrykę Aparatów Rentgenowskich (FAR)** przy ul. Markowskiej 18 (na terenach dawnej Mennicy). Trzon pracowników technicznych rekrutował się z dawnych zakładów Szpotańskiego oraz grupy pierwszych absolwentów sekcji Inżynierii Elektromedycznej Politechniki Warszawskiej. W 1954 r. uruchomiono produkcję pierw-

szych medycznych aparatów rentgenowskich. Mimo, iż w tym samym roku został opracowany przez Instytut Elektrotechniki projekt wstępny pierwszego aparatu przemysłowego, nie doszło do uruchomienia produkcji tychże aparatów. Należy podkreślić, iż wytwarzane początkowo medyczne aparaty rentgenowskie były to konstrukcje oparte na polskiej myśli technicznej.

W latach 1959/60 w wyniku połączenia Fabryki Aparatów Rentgenowskich i Centralnych Warsztatów Napraw i Konserwacji Sprzętu Medycznego (zał. 1950 r.) powstaje **Fabryka Aparatów Rentgenowskich i Elektromedycznych FAREL** przy ul. Markowskiej 18. Fabryka zyskuje nowe budynki przy ul. Jagiellońskiej 74, gdzie mieści się do chwili obecnej. Z kolei w 1967 r. następuje połączenie FAREL z Fabryką Urządzeń Medycznych przy ul. Grzybowskiej, wysiedlonej wskutek rozbudowy centrum Warszawy. Dziesięć lat później w 1977 r. powstaje Zjednoczenie Firm pod nazwą FARUM. W 1993 r. przekształcone ono zostaje w **Fabrykę Aparatury Rentgenowskiej i Urządzeń Medycznych FARUM S.A.**

Efektem pracy i myśli polskich konstruktorów było opracowanie konstrukcji i wdrożenie do produkcji całej gamy aparatów rentgenowskich począwszy od XD 1 a na XD 22 skończywszy. W naszym muzeum znajdują się cztery aparaty produkcji Farum, tj.

1. **XD 4 - zestaw przewoźny połowy dla celów wojskowych, 90 kV,**
2. **XD 8 - zestaw przenośny do zdjęć chirurgicznych „Portax” 60 kV,**
3. **XD 10 - zestaw stacjonarny do prześwietleń i zdjęć ogólnodiagnostycznych 100 kV,**
4. **XD 14 - zestaw jezdny „Mobilax” 120 kV, 200 mA.**

W muzeum znajduje się ponadto prototyp polskiego aparatu rentgenowskiego przeznaczonego do weterynarii **„Medivet – 01”** opracowanego przez firmę WBA z Kluczborka (Krzysztof Bocianek).

Znaczne osiągnięcia odnotowano w Polsce w zakresie budowy **wysokoenergetycznych urządzeń rentgenowskich**, jakimi są np. betatrony, czy akceleratory liniowe. Otóż już w latach 1958-1962 w **Instytucie Elektrotechniki** zbudowano prototyp przemysłowego betatronu, który następnie zainstalowano w Zakładzie Fizyki **Institutu Badań Jądrowych** w Świerku. Tam przeprowadzono prace modernizacyjne i zbudowano w ZDAU IBJ<sup>3</sup> trzy sztuki betatronów (B-30S), które zostały zainstalowane do fotoaktywacyjnej analizy rud miedzi w Polkowicach, Lubinie i w Rudnej<sup>4</sup>. W latach 1970-1975 opracowano betatron mobilny BRM-30, przeznaczony do radiografii grubościennych wyrobów stalowych o grubościach 100 do 300 mm. Betatron taki został zainstalowany w 1977 r. w Laboratorium Badań Nieniszczących w Odlewni Żeliwa w Śremie, gdzie pracował bez przerwy do 2021 r.!! Ponadto w IBJ opracowano prototyp

<sup>3</sup> Zakład Doświadczalny Aparatury Unikalnej Instytutu Badań Jądrowych.

<sup>4</sup> Obecnie już nie pracują (od 2004 r.) i zostały zastąpione analizatorami fluorescencji rentgenowskiej.

mikrotronu, a następnie mobilny mikrotron radiograficzny (o parametrach 10 MeV i 800 R/min/m) na zamówienie Huty Stalowa Wola. Ostatnim produktem Instytutu Problemów Jądrowych jest mobilny akcelerator do radiografii przemysłowej Lillyput o energii fotonów 6 lub 9 MeV, których wyprodukowano 4 sztuki – jeden z nich pracuje we Wrocławskim Parku Technologicznym.

Ponadto w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku we współpracy z francuską firmą CGR-MeV wyprodukowano w latach 1977-2004 około 100 akceleratorów terapeutycznych typu Neptun 10P (o energii fotonów 9 MeV). Większość z nich tj. 33 sztuki zostały zainstalowane w Polsce głównie do terapii w medycynie, ale 3 sztuki zostały wyprodukowane do zastosowań przemysłowych. Jeden z nich pracował w fabryce Rafako w Raciborzu (w związku z realizacją programu budowy urządzeń dla energetyki jądrowej), drugi pracował w latach 1994-2000 w odlewni Zamechu w Elblągu (został zdemontowany?), natomiast trzeci zakupiony przez Zakłady Aparatury Chemicznej Metalchem w Opolu nigdy nie został uruchomiony. Pojawił się również prototypowy akcelerator Limex (o energii 4 MeV), który został zainstalowany w Centrum Onkologii w Warszawie; na bazie tego akceleratora zbudowano następnie 5 akceleratorów typu Coline-4.

Ekspozycje w naszym muzeum pochodzą od **479 ofiarodawców**<sup>5</sup>, tj. z uczelni wyższych, instytutów naukowo-badawczych, różnych szkół, producentów aparatury rentgenowskiej, firm handlowo-usługowych, firm serwisowych, laboratoriów specjalistycznych, szpitali, gabinetów stomatologicznych, zakładów pracy czy wreszcie osób prywatnych **z kraju (314) i z zagranicy (165) z 25 państw**. Najwięcej darczyńców z zagranicy pochodzi z Niemiec (50), USA (31) czy Wielkiej Brytanii

(20), ale także mamy z Francji, Holandii, Włoch, Czech, Szwajcarii, Austrii, Belgii, Japonii, Finlandii, Słowacji, Danii, Białorusi, Izraela, Hiszpanii, Irlandii, Rumunii, Kanady, Szwecji, Finlandii, Ukrainy, Australii czy nawet Zjednoczonych Emiratów Arabskich.

Należy wyraźnie zaznaczyć, iż to dzięki zrozumieniu oraz życzliwości licznych ofiarodawców miało szansę powstać i nadal się rozwijać to unikalne na świecie muzeum. Wielu z nich, a w szczególności z zagranicy nie tylko ofiarowuje ekspozycje do muzeum, ale także pokrywa koszty ich transportu do Polski. Muzeum nasze cieszy się dużą popularnością w szczególności wśród osób zajmujących się zawodowo wykorzystywaniem promieniowania X do różnych celów. Zostało ono również docenione za granicą, o czym świadczyć może fakt, iż Niemieckie Muzeum Rentgena w Remscheid-Lennep w wydanej w 2020 r. publikacji pt.: „**WILHELM KONRAD RÖNTGEN – na tropie promieni X**” (fot. 5.) uznało za celowe przedstawienie w niej również kolekcji lamp rentgenowskich, jaka znajduje się na naszej Politechnice Opolskiej.

Z kolei Amerykańskie Stowarzyszenie Kolekcjonerów Lamp Elektronowych (Tube Collectors Association) zakończyło swój e-mail: „*Profesor Röntgen gdiekolwiek on jest, byłby zadowolony*”.

Nasze muzeum jest członkiem Stowarzyszenia Muzeów Uczelnianych<sup>6</sup> z siedzibą w Warszawie (rys.3). Stowarzyszenie to wydało bardzo ładny katalog pt.: „*Muzea uczelniane. Katalog, Warszawa 2017 r.*” a także wzbogacającą wersję anglojęzyczną „*Treasure Houses of Polish Academic Heritage, Warszawa 2020 r.*”

W muzeum gromadzona jest także szeroko pojęta **wiedza** dotycząca promieniowania rentgenowskiego. Są to m.in. katalogi, prospekty czy foldery dotyczące poszczególnych ekspozycji, kserokopie patentów (Polska



Fot. 5. Muzeum Röntgena w Remscheid-Lennep (fot. S. Dubiel)



Fot. 6. Plansza o Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich (fot. Stowarzyszenie Muzeów Uczelnianych)

<sup>5</sup> Pełen wykaz ofiarodawców (z imienia i nazwiska) jest dostępny na stronie <https://muzeum.po.opole.pl> link - zbiory/podziekowania/ofiarodawcy.

<sup>6</sup> <http://muzeauczelniane.pl>

– 50, i USA – 2410), a także liczne publikacje książkowe krajowe i zagraniczne.

Na dzień 30 lipiec 2021 r. muzeum nasze posiada ogółem **1377 eksponatów** – zostały one szczegółowo przedstawione w załączonych tabelach. Jak można zauważyć w oparciu o załączony wykaz eksponatów, nasze muzeum to już nie tylko muzeum lamp rentgenowskich, ale możliwie wszystkiego, co dotyczy i wiąże się z promieniowaniem rentgenowskim.

<b>Lampy rentgenowskie (791)</b>		
1.	Lampa Crooksa	1
2.	Lampy jonowe gazowane	6
3.	Lampy z anodą stałą (szklane)	229
4.	Lampy z anodą stałą (metalowo-ceramiczne)	53
5.	Lampy z anodą wirującą (W)	68
6.	Lampy z anodą wirującą (Mo)	9
7.	Lampy do tomografu	10
8.	Lampy do dyfrakcji (szklane)	195
9.	Lampy do dyfrakcji (metalowo-ceramiczne)	25
10.	Lampy do fluorescencji	140
11.	Lampy impulsowe	12
12.	Prototypy lamp do fluorescencji (Polska)	43
<b>Lampy inne (61)</b>		
13.	Kenotrony (lampy prostownicze wysokiego napięcia)	42
14.	Lampy analizujące (stosowane w radioskopii)	11
15.	Fotopowielacze	5
16.	Tyatrony	3
<b>Inne źródła rentgenowskie (6)</b>		
17.	Źródło X do litografii	1
18.	Źródło X na taśmę klejącą	1
19.	Źródło X Cool	1
20.	Źródło z mikroogniskiem	2
21.	Igła fotonowa (Polska)	1
<b>Źródła wysokoenergetyczne/elementy (14)</b>		
22.	Betatron przenośny	1
23.	Torus od betatronu	3
24.	Falowód od akceleratora liniowego	1
25.	Działo elektronowe od akceleratora liniowego	2
26.	Magnetron od akceleratora	2
27.	Filtry wyrównujące wiązkę X w akceleratorze	5
<b>Aparaty rentgenowskie (96)</b>		
28.	Aparaty medyczne	10
29.	Aparaty stomatologiczne	10
30.	Aparaty mamograficzne	2
31.	Aparaty densytometryczne	1
32.	Aparaty do terapii powierzchniowej	2
33.	Aparaty do weterynarii	4
34.	Aparaty do NDT (przemysłowe)	62
35.	Aparat dla rolnictwa	1
36.	Aparat rentgenowski do security	1
37.	Analizator XRF (przenośny)	2
38.	Analizator XRF (stołowy)	1
<b>Kołpaki aparatów medycznych (67)</b>		
39.	Kołpaki ogólne	41
40.	Kołpaki do tomografii	5
41.	Kołpaki do angiografii	4
42.	Kołpaki do mammografii	12
43.	Kołpaki do densytometrii medycznej	5
<b>Głowice aparatów rentgenowskich (48)</b>		
44.	Głowice dla security	8
45.	Głowice do stomatologii	38
46.	Głowica dla przemysłu spożywczego	2

<b>Wzmacniacze obrazu rentgenowskiego (23)</b>		
47.	Wzmacniacze w obudowie	8
48.	Wzmacniacze „gołe”	10
49.	Układy optyczne	3
50.	Monitory medyczne	2
<b>Detektory cyfrowe do obrazowania (27)</b>		
51.	Detektory liniowe	20
52.	Detektory typu płaski panel	2
53.	Kamery CCD	3
54.	Folie GEM	2
<b>Optyka rentgenowska (5)</b>		
55.	Polikapilary rentgenowskie	2
56.	Soczewki rentgenowskie typu LIGA	2
57.	2-wymiarowe lustro ogniskujące	1
<b>Różne (98)</b>		
58.	Ekran fluorescencyjne	4
59.	Dyfraktometry	3
60.	Kamery do dyfrakcji	19
61.	Densytometry do radiogramów	2
62.	Negatoskopy	4
63.	Cewka Ruhmkorffa	1
64.	Wzorce do badań	11
65.	Filtry	4
66.	Luminofory	5
67.	Gettery	3
68.	Parawany rtg	2
69.	Fartuchy ochronne	5
70.	Okulary ochronne	4
71.	Rękawice ochronne	3
72.	Ręczna wywoływarka do błon w stomatologii	1
73.	Artystyczne fotografie rentgenowskie	16
74.	Radiogram wielkoformatowy (autobus)	1
75.	Fotografia Wilhelma Rentgena	1
76.	Suwaki dozymetryczne/radiograficzne	6
77.	Medale pamiątkowe z Rentgenem	3
<b>Sprzęt pomiarowy dozymetryczny (141)</b>		
78.	Mierniki promieniowania jonizującego	69
79.	Komory jonizacyjne	26
80.	Liczniki proporcjonalne	4
81.	Liczniki Geigera-Mullera	22
82.	Scyntylatory	5
83.	Liczniki scyntylicyjne	14
84.	Detektor lżeźmowo-litowy	1

Siedziba muzeum mieści się na terenie II kampusu Politechniki Opolskiej przy ul. Prószkowskiej 76 w budynku nr 5 na III piętrze i zajmuje powierzchnię ponad 200 m<sup>2</sup> w trzech salach. Organizacyjnie Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich podlega prorektorowi ds. ogólnych i operacyjnych uczelni. Nadzór nad muzeum sprawuje jedna osoba (Grzegorz Jezierski). Muzeum czynne jest od wtorku do piątku w godz. 9:00 – 14:00; po wcześniejszym uzgodnieniu istnieje możliwość zwiedzania w innym terminie (np. w sobotę czy w niedzielę). Na stronie www Politechniki Opolskiej znajduje się ikona kierująca do muzeum. Można tam uzyskać wiele informacji na temat samego muzeum jak i odbyć wirtualną wycieczkę po muzeum.

*dr inż. Grzegorz Jezierski,  
Muzeum Politechniki Opolskiej  
i Lamp Rentgenowskich,  
OPOLE*

## 7 LISTOPADA

154 lata temu w budynku przy ul. Freta 16 w Warszawie przyszła na świat Maria Skłodowska. Trudno jest napisać, choć troszkę odmienny tekst na ten temat niż te, które pisano do tej pory, a warto przecież odnieść się do kolejnej rocznicy urodzin tej wielkiej Uczzonej i nietuzinkowej Kobiety. Postanowiłam poszperać trochę w mniej naukowych sferach i odnieść się do horoskopów, a to także może być ciekawe. Otóż, **Jan Starzy – Dzierżbicki w książce, Pod jaką gwiazdą urodziłeś się – horoskopy na każdy dzień roku, wydanej w Warszawie w 1938 r. (wydawanej zresztą do dziś w formie reprintu)** opisuje charakter, skłonności i upodobania ludzi urodzonych każdego dnia roku. Autor od roku 1907 był prezesem Polskiego Towarzystwa Astrologicznego, zmarł w 1939 r. – cytując z domeny publicznej ze wspomnianej książeczki.

**7 listopada**

„Przenikliwy, sceptyczny, wytrwały — chętnie odkrywa tajemnice.

**Jego usposobienie jest dość niespokojne** – skłonne do uniesień, entuzjastyczne. A jednak jest stały, energiczny, a umysł jego ostry i przenikliwy dąży do tego, aby rozszerzyć granice swych wiadomości. Ma wrodzone zdolności do medycyny i chemii.

Pośród ludzi urodzonych dzisiaj musimy wyraźnie odróżnić dwa typy najzupełniej odmiennie. Niższy typ – człowiek nierozwinięty – jest agresywny, nieprzyjemny, nieufny, zazdrosny, nieraz tyrański. Lecz typ wyższy, bardziej rozwinięty – przezwyciężył już te wrodzone wady, rozwinął wielką potęgę pracy i pragnie ją poświęcić dla zrealizowania swych ideałów.

**W stosunku do innych nie jest zbyt łagodny.** Doświadcza ich i bada ich siłę, a gdy okażą się zbyt słabi – bezwzględnie ich strofuje. Jego uczucia miłości i nienawiści są bardzo silne.

Jest to całkiem swoisty charakter i trudno nieraz dać sobie z nim radę. **Skłonny do fatalizmu** – niepotrzebnie wierzy w ślepe siłę losu, co zatruwa mu radość życia. Pod względem intelektualnym nierzadko jest szydery i sceptyczny, analizując wszystko w sposób niezwykle dokładny.

**Wielką przyjemność sprawia mu odkrywanie cudzych tajemnic** i wyświetlanie okoliczności niejasnych i zawiłych. Tajemnice i misteria religii wzruszają go i przyciągają.

Najlepsze rezultaty czy to we współdziałaniu czy też w małżeństwie, może osiągnąć z ludźmi urodzonymi od dnia 23 czerwca do 22 lipca i od dnia 21 lutego do 19 marca.”

Zatem cofnijmy się o te 154 lata, czyli o 56 256 dni. Wiadomo, że był to czwartek, słońce weszło o godzinie 7.05, zaszło o 16.22, dzień trwał, zatem 9 godzin i 16 min. Nie mamy danych, o której godzinie przyszło na świat najmłodsze dziecko Bronisławy i Władysława Skłodowskich, dziewczynka nazywana Anciupecio, Manią, Maniusią i wreszcie Madame Curie. Trzeba byłoby szukać w księ-

gach parafialnych kościoła Nawiedzenia Najświętszej Maryi Panny przy Przyryнку w Warszawie. Kiedyś szukałam... Z tego, co mi wiadomo, księgi te spłonęły, zachowały się tylko informacje dotyczące chrztu świętego we wspomnianym kościele oraz fotografia aktu chrztu. Ceremonia odbyła się 23 stycznia 1868 r, o godzinie 18. Nie mogłam także znaleźć informacji, jaka była pogoda w dniu urodzin Marii, można założyć, że był to zwyczajny listopadowy dzień, może już leżał śnieg, a może padał listopadowy ponury deszcz... Maria Skłodowska urodziła się, zatem jako zodiakalny Skorpion.

7 listopada, (choć oczywiście w innych latach) przyszyły także na świat inne znane światu osoby: polski malarz – Józef Chełmoński, austriacka fizyczka – Lise Meitner, rosyjski rewolucjonista – Lew Trocki, francuski pisarz – Albert Camus, amerykański pisarz – William Wharton.

Spróbujmy pokrótce przyjrzeć się opisanym przez prezesa Polskiego Towarzystwa Astrologicznego cechom przypisywanym osobom urodzonym 7 listopada, porównajmy je z tym, co wiemy o zachowaniach i upodobaniach Marii Skłodowskiej-Curie.

W opisie wielokrotnie pojawia się sformułowanie, że osoby te pociągają tajemnice, że lubią nieznaną, niepoznane, to, co jest zakryte i niedostępne dla innych, że lubią wchodzić do świata nieznanego... Czymże jest, zatem dążenie uczonego do rozwikłania zagadek otaczającego świata, czymże jest stawianie sobie celów, na pierwszy rzut oka nie do osiągnięcia? Słowa Uczzonej zdają się to potwierdzać. *Uczony jest w swojej pracowni nie tylko technikiem, lecz również dzieckiem wpatrzonym w zjawiska przyrody, wzruszające jak czarodziejska baśń.*

Nie sam romantyzm jest tu jednak kołem napędowym, nie samo odkrycie dla odkrycia jest ważne. Ważny jest cel, a ten jest jasno określony. *Nauka leży u podstaw każdego postępu, który ułatwia życie ludzkie i zmniejsza cierpienie. Jestem z tych, którzy wierzą, że Nauka jest czymś bardzo pięknym.* I dalej: *Nie można, bowiem mieć nadziei na skierowanie świata ku lepszym drogom, o ile się jednostek nie skieruje ku lepszemu. W tym celu każdy z nas powinien pracować nad udoskonaleniem się własnym, jednocześnie zdając sobie sprawę ze swej, osobistej odpowiedzialności za całokształt tego, co się dzieje w świecie, i z tego, że obowiązkiem bezpośrednim każdego z nas jest dopomagać tym, którym możemy się stać najbardziej użyteczni.*

Przenikliwy, odważny umysł, natura, która jest uparta i nie poddaje się łatwo. *Problemy są po to, aby je rozwiązywać. W życiu nie należy się niczego bać, należy to tylko zrozumieć. Trzeba mieć wytrwałość i wiarę w siebie. Trzeba wierzyć, że człowiek jest do czegoś zdolny i osiągnąć to za wszelką cenę.*

Przyjrzyjmy się jeszcze relacji Uczzonej z innymi ludźmi. Te nie były łatwe ani oczywiste, Maria nauczyła się skrywać emocje, z czasem zrozumiała, że uczucia, ich okazywanie może być słabością, może osłabiać jej pozycję w męskim świecie, do którego wdarła się siłą przez laboratorium i sale wykładowe, i w którym mogła być podziwiana, ale

akceptowana z pewnością nie była. Była dziwołagiem, genialnym, wyjątkowym, ale dziwołagiem zwiastującym niebezpieczne czasy dla panującego porządku społecznego.

*Narazamy się na wiele rozczarowań, jeśli wszystkie nasze życiowe zainteresowania uzależnimy od uczuć burzliwych, jak miłość...*

Z natury Maria była podatna na działania emocji, uczucia radości, gniewu, żalu, miłości przeżywała niezwykle intensywnie, ale życie, czy raczej ludzie nauczyli ją, że należy chłodno oceniać rzeczywistość, a emocje uwalniać tylko wśród najbliższych. Przypomnijmy sobie listy do Piotra pisane po jego śmierci w dziennikach, z jakim ciepłem, miłością, żarem się do niego zwraca... Po jego śmierci tylko raz dała się ponieść miłości i gorzko za to zapłacała. Wymagając tak wiele od siebie, wymagała tyle samo od innych, potrafiła być ostra, oschła i niemila, ale także czuła, współczująca i pomocna dla swoich studentów i pracowników laboratorium, choć potrafiła także niezwykle ostro ich skarcić za nieporządek w laboratorium.

A na koniec, swoiste credo Uczonej. Może warto na chwilę się nad nim pochylić...

*Niech każdy z nas, jak jedwabnik, tka swój kokon i nie żąda wyjaśnień, po co i na co. Jeżeli robota nasza będzie dobra, to powiemy sobie, żeśmy się nie gorzej od jedwabników zachowali. Reszta zaś nie od nas zależy.*

Małgorzata Sobieszczak-Marciniak,  
Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie,  
Warszawa

#### Literatura:

- [1] Jan Starży – Dzierżbicki *Pod jaką gwiazdą urodziłeś się – horoskopy na każdy dzień roku*, Warszawa 1938
- [2] Autobiografia MSC. Warszawa 2004
- [3] Ewa Curie Maria Curie Warszawa 1997

## STAND UP FOR NUCLEAR

Tegoroczna akcja „Stand up for nuclear” pod pomnikiem M. Kopernika na Krakowskim Przedmieściu w Warszawie została tym razem zorganizowana późno, bo w sobotę 6 listopada. Było tak z uwagi na spodziewany wyjazd do Pątnowa, który jednak na razie nie doszedł do skutku. Dzień był dość pochmurny i niezbyt przyjemny. O godzinie 12:00 rozstawiony został sprzęt pod pomnikiem, stolik, krzesło, materiały i transparenty. Jeden z nich o treści „Tak dla atomu” w gminie Choczewo oraz Obywatelski Ruch na Rzecz Energetyki Jądrowej, drugi z postulatem odejścia od węgla, wreszcie trzeci z treścią „Sam wybierz, co wolisz” Obywatelski Ruch na Rzecz Energetyki Jądrowej. Zainteresowanie przechodniów, choć umiarkowane, ale można było odnieść wrażenie, że wyglądało to trochę lepiej niż przed rokiem w tym samym miejscu. Rozdaliśmy wszystkie posiadane biuletyny i większość ulotek (w tym jedna przygotowana specjalnie na tę okazję przez Andrzeja Mikulskiego), a było tego kilkaset sztuk. Bardziej zainteresowanym rozdawany był kwartalnik „Postępy Techniki Jądrowej” i broszura „500 Zagadek z energetyki jądrowej”. Te pierwsze rozdawane były przez Stanisława Latka z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, te drugie dostarczyło Ministerstwo Klimatu. Niezbyt liczni, bardziej zainteresowani dyskutowali przy stoliku, gdzie mieliśmy możliwość wyjaśnienia szeregu wątpliwości dotyczących energetyki jądrowej. Ludzie sami zgłaszali się, by podpisywać petycję do władz o przyspieszenie rozwoju energetyki jądrowej, choć nie specjalnie promowana była w tym roku ta akcja. Jednakże postawa taka niektórych osób świadczyła o chęci zrobienia czegoś konkretnego w tej sprawie.



Fot. 1. Akcja „Stand up for nuclear” pod pomnikiem M. Kopernika na Krakowskim Przedmieściu (fot. Stanisław Latek)

Akcja odbywała się w cieniu bardzo dużych podwyżek cen energii elektrycznej spowodowanej rosnącymi cenami uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>. Dlatego stare bloki węglowe np. 200 MW należy jak najszybciej się da wymienić na nowe, jądrowe, a więc bezemisyjne. Ilość spalnego węgla zostanie w ten sposób ograniczona, a ilość spalnego gazu za bardzo też nie wzrośnie. Oba źródła należą do emisyjnych.

Część osób przechodzących obok wydawała się niezainteresowana tematem, ale tych niechętnych wobec ener-



Fot. 2. Jeden z transparentów pod hasłem „Wydobycie węgla nieopłacalne” (fot. Stanisław Latek)



getyki jądrowej było naprawdę niewielu. Być może warszawska ulica (w dodatku zdominowana przez turystów) nie jest może reprezentatywna dla całego kraju, ale mimo braku zdecydowanej edukacji w głównych mediach i braku popularyzowania wiedzy o energetyce jądrowej, wydaje się, że opór wobec tej technologii jest w społeczeństwie marginalny. Jest to wskazówka dla władz, by istotnie przyspieszyć z atomem, dla dobra kraju.

W tegorocznym „Stand up form nuclear” brało udział 7 członków lub sympatyków Stowarzyszenia, są

to Jacek Bauriski, Maciej Goździk, Stanisław Latek, Andrzej Mikulski, Elżbieta Tyska, Rafał Wąsiewicz i autor sprawozdania – Jerzy Lipka. Akcja zakończyła się o godzinie 16:00. Akcja ochraniana była w sposób bardzo dyskretny przez kilku policjantów, których przez większość czasu jednak w ogóle nie było widać.

*Jerzy Lipka,  
Obywatelski Ruch na Rzecz Energetyki Jądrowej,  
Warszawa*

## NOS AMIS D'EDF À PROPOS DU NOËL DES PILOTES POLONAIS EN FRANCE EN 1939.

Gérard Soufflet

Résumé: Nos amis jadis associés à la Direction des Affaires Internationales d'EDF, soutenant la coopération avec les institutions polonaises dans le domaine de l'énergie nucléaire, notamment aidé à établir une coopération entre l'ICHTJ et EDF R&D et l'Institut du vieillissement des matériaux racontent un geste de solidarité, à Noël 1939, entre des mineurs polonais, des émigrés en France et des aviateurs de l'armée polonaise renaissant en France sous le commandement du général Sikorski.

Les 25 et 26 septembre 2021, la prestigieuse station de radio France-Culture transmettait un reportage historique consacrée à la présence de nombreux aviateurs polonais sur le sol français durant l'hiver 1939-1940. Ils avaient réussi à quitter la Pologne vaincue et à rallier l'Armée polonaise que le général Sikorski, lui-même réfugié en France, reconstituait alors sur le territoire français. Le reportage est focalisé sur un épisode émouvant de cette période, au cours duquel les ouvriers polonais émigrés, travaillant dans les mines d'un bassin houiller de France, allaient se mobiliser à l'occasion de Noël 1939 pour accueillir dans leur famille un grand nombre de ces militaires afin qu'ils passent ces fêtes de la nativité dans la chaleureuse ambiance du pays.

Lien : <https://www.franceculture.fr/emissions/serie/un-aviateur-pour-noel>

Il se trouve que la connaissance précise de cet évènement résulte des recherches historiques que mène depuis son départ en retraite Monsieur Gérard Soufflet, qui fut responsables des relations entre EDF et le secteur énergétique polonais à partir de 1990. Il est aussi le mari de Mme Nathalie Beuzemont, de la direction internationale d'EDF, bien connue des acteurs du secteur nucléaire polonais pour qui elle organisa notamment de nombreux contacts entre ICHTJ et EDF R&D et MAI.

## NASI PRZYJACIELE Z EDF O ŚWIĘTACH BOŻEGO NARODZENIA POLSKICH PILOTÓW WE FRANCJI W 1939 R.

Gérard Soufflet

**Streszczenie:** Nasi przyjaciele kiedyś związani z Dyрекcją ds. Międzynarodowych EDF, wspierający współpracę z polskimi instytucjami w zakresie energetyki jądrowej m.in. pomogli w nawiązaniu współpracy ICHTJ a EDF R&D oraz the Materials Ageing Institute opowiadają o geście solidarności, w czasie świąt Bożego Narodzenia 1939 r., pomiędzy polskimi górnikami, emigrantami we Francji a lotnikami Armii Polskiej odradzającej się we Francji pod dowództwem generała Sikorskiego.

W dniach 25 i 26 września 2021 r. prestiżowa, francuska rozgłośnia radiowa France-Culture nadała reportaż historyczny o obecności polskich lotników na ziemiach francuskich zimą, na przełomie 1939-1940 r., którzy ewakuowali się z Polski po przegranej kampanii wrześniowej i dołączyli do polskich sił zbrojnych formowanych przez generała Sikorskiego, przebywającego w tym czasie we Francji. Wyemitowana audycja dotyczyła wzruszającego gestu polskich emigrantów – robotników pracujących we francuskich kopalniach węgla kamiennego, którzy w czasie Bożego Narodzenia<sup>1</sup> przyjęli polskich pilotów pod swój dach, aby mogli spędzić świąteczny czas w ciepłej, rodzinnej atmosferze.

Link: <https://www.franceculture.fr/emissions/serie/un-aviateur-pour-noel>

Wydarzenie to mogło ujrzeć światło dzienne i zostać szczegółowo opisane dzięki Gérardowi Soufflet, pracownikowi EDF, odpowiedzialnemu za relacje z polskim sektorem energetycznym od 1990 r., który zajmuje się badaniami historycznymi od czasu przejścia na emeryturę. Gérard Soufflet jest mężem Nathalie Beuzemont, pracującej w Dyrekcji ds. Międzynarodowych EDF, dobrze

<sup>1</sup> Fragmenty wpisu „Święta Bożego Narodzenia polskich pilotów we Francji w 1939 r.” zamieszczonego na stronie: <https://www.respol71.com/1939-le-noel-montcellien-des-aviateurs-polonais>

Gérard Soufflet est originaire de Montceau-les-Mines, cette cité minière de Bourgogne où furent accueillis les aviateurs, distante de 150 km de Lyon où ils étaient cantonnés. Ses travaux consacrés à la communauté polonaise et à sa participation à la Résistance contre l'occupation allemande sont présentés dans un important site internet: [www.respol71.com](http://www.respol71.com)<sup>1</sup>

### Que faisaient donc les aviateurs polonais en France?

... A l'automne 1939, parmi les soldats échappés de la Pologne envahie, on comptait beaucoup d'aviateurs; on estime que près de 80% des effectifs de l'aviation avaient réussi à sortir du pays, soit environ 12 000 hommes. Plus de 9000 étaient en Roumanie, plus de 900 en Hongrie...

Par diverses filières d'évasion, souvent appuyées sur les postes diplomatiques français en Europe centrale et dans les Balkans, des milliers d'officiers, de pilotes, de mitrailleurs et de mécaniciens s'acheminèrent vers la France.

Ils arrivent à flot continu à partir de fin octobre 1939 et s'installent à l'aéroport de Lyon-Bron que les autorités militaires françaises ont attribué à l'aviation polonaise en cours de reconstitution; fin avril 1940, le commandement polonais dénombre 6633 aviateurs prêts au combat en France et 2089 en Grande Bretagne.

Arrivés bien sûr sans leurs avions, ils étaient prêts à s'initier aux matériels français ou anglais et à poursuivre la bataille.

(...) l'équipement militaire français en 1939 n'était guère propice à intégrer pleinement cet afflux inattendu de compétences. Ajoutons que les incompréhensions entre les uns et les autres ajoutèrent aux difficultés: l'armée de l'air française regardait de haut ces Polonais qui arrivaient vaincus et qui se montraient notablement

znanej w polskim sektorze jądrowym dzięki jej zaangażowaniu w nawiązywanie współpracy pomiędzy IChTJ a EDF R&D oraz the Materials Ageing Institute.

Gérard Soufflet pochodzi z Montceau-les-Mines, miasta położonego w zagłębiu węglowym, w którym polscy piloci spędzili święta, oddalonego o 150 km od Lyonu, gdzie mieszkali. Wyniki kwerendy prowadzonej przez Gérarda Soufflet, poświęconej polskiej społeczności oraz jej uczestnictwu w Francuskim Ruchu Oporu przeciwko niemieckiej okupacji są zamieszczone na stronie internetowej: [www.respol71.com](http://www.respol71.com)

### Co robili polscy piloci we Francji?

Wielu z żołnierzy, którzy ewakuowali się z okupowanej Polski po wrześniu 1939 r. było pilotami. Około 80% sił powietrznych, czyli 12 tysiącom osób udało się przedostać za granicę, z czego ponad 9 tysięcy schroniło się w Rumunii, a około 900 na Węgrzech.

Różnymi kanałami, często dzięki pomocy francuskiej dyplomacji w Europie Środkowej i na Bałkanach, tysiące polskich oficerów, pilotów, strzelców pokładowych i mechaników przybyło do Francji.

Przyjeżdżali od końca października 1939 r. i zajęli bazę lotniczą Lyon-Bron oddaną przez władze francuskie odradzającym się we Francji polskiemu siłom powietrznym. Pod koniec kwietnia 1940 r. polskie jednostki liczyły 6633 pilotów gotowych do walki we Francji oraz 2089 w Wielkiej Brytanii.

Pozbawieni polskich samolotów, byli gotowi na przeszkolenie w zakresie pilotowania maszyn francuskich i angielskich w celu kontynuowania walki.

(...) braki w wyposażeniu armii francuskiej w 1939 r. powodowały trudności w pełnej integracji nieoczekiwanie przybyłych, wyszkolonych pilotów. Należy wspomnieć, że nieporozumienia mnożyły kolejne trudności,



**Fot. 1.** Visite du général Sikorski, 1<sup>er</sup> ministre polonais, à la base de Bron en janvier ou mars 1940 (SHD – photothèque de l'armée de l'Air)

**Fot. 1.** Wizyta premiera - generała Sikorskiego w bazie lotnictwa w Bron w styczniu bądź w marcu 1940 r. (z archiwum fotograficznego sił powietrznych)



**Fot. 2.** Stanisław Rychlik 1898-1945

<sup>1</sup> Extraits de l'article consacré au « Noël 1939 des aviateurs » Lien : <https://www.respol71.com/1939-le-noel-montcellien-des-aviateurs-polonais>

indisciplinés; eux-mêmes jugeaient durement les officiers français qu'ils trouvaient trop peu combattifs (...)

### **L'initiateur de la venue des aviateurs à Montceau-les-Mines: Stanisław Rychlik**

A l'origine se trouve Stanisław Rychlik, le président régional du Comité de Liaison des Associations polonaises. Il est mineur au puits des Alouettes; il a 42 ans. C'est une rude tâche que la sienne, car ces associations polonaises sont particulièrement nombreuses dans le bassin minier. Début 1939, le préfet en dénombre 25 à Montceau, 8 à Saint-Vallier, 7 à Sanvignes: Ce sont des associations religieuses (confrérie du Rosaire pour les femmes, société de Saint-Joseph pour les hommes, jeunesse catholique SMP), des groupes de Scouts pour les garçons et les filles, des associations culturelles (chorales, cercles théâtraux), sportives (gymnastes dans les Sokols, footballeurs aux clubs Polonia des Gautherets, Orions de la Saule); notons aussi l'existence de sociétés de secours mutuels d'inspiration catholique, etc...

Chaque quartier polonais, la Saule, les Gautherets, les Baudras, les Essarts, le Bois-du-Verne, possède toute ou partie de cette palette associative. En outre le Comité régional de liaison fédère aussi les plus petites communautés polonaises des alentours (le Creusot, Montchanin, Epinac, la Machine). Il couvre une population polonaise de près de 10.000 personnes.

En marge de ces associations d'inspiration catholique, existe un mouvement bien particulier, qui prend ses distances d'avec l'église et dont la nature politique et patriotique est plus clairement affirmée; c'est le mouvement des francs-tireurs (les « Strzelce », très représenté à Montceau-les-Mines. La législation française ne lui permettant pas de détenir d'armes, le mouvement se limite à la pratique de l'athlétisme, de la boxe et du basket.

Le Comité de liaison que dirige Stanisław Rychlik rassemble les associations catholiques, mais lui-même est aussi dirigeant des « Strzelce »; il est ardent patriote, catholique fervent mais un brin anticlérical, fidèle admirateur de Jozef Pilsudski.

Né le 22 septembre 1898 à Borek, dans la région de Poznan, il est arrivé dès 1921 en France; sa jeune épouse l'a rejoint rapidement et, à la veille de la guerre, ils ont quatre enfants. Pour accroître le revenu familial, Stanisław Rychlik a transformé une partie de son logement en épicerie pour le voisinage; il fait aussi le coiffeur pour ses collègues mineurs.

De grande taille, il nous est décrit comme étant un homme de principe, exerçant une forte influence sur son entourage.

Nul doute qu'à l'automne 1939, Stanisław Rychlik ressent plus que tout autre le drame en cours; pour tous ces émigrés, restés profondément attachés au pays, la nouvelle invasion de la Pologne, après 21 ans

francuska armia traktowała pokonanych i niezdyscyplinowanych Polaków z wyższością, ci ostatni zaś zarzucali francuskim oficerom zbyt małą waleczność. (...)

### **Inicjator przyjazdu lotników do Montceau-les-Mines: Stanisław Rychlik**

Organizatorem przyjazdu żołnierzy był Stanisław Rychlik, prezes regionalnego Komitetu Związku Stowarzyszeń Polskich. Ten 42-letni górnik z kopalni Alouettes podjął się trudnego zadania, ze względu na dużą ilość polskich stowarzyszeń w zagłębiu węglowym. Na początku 1939 r. w prefekturze było ich zarejestrowanych: 25 w Montceau, 8 w Saint-Vallier, 7 w Sanvignes. Były to stowarzyszenia o charakterze religijnym (kółko różańcowe dla kobiet, stowarzyszenie im. św. Józefa dla mężczyzn, Stowarzyszenie Młodzieży Polskiej), szczepy harcerskie dla dziewcząt i chłopców, stowarzyszenia kulturalne (chóry i kółka teatralne), sportowe (gimnastycy zrzeszeni w Towarzystwie „Sokół”, piłkarze w klubie Polonia w Gautherets czy Orion z Saule), a także katolickie towarzystwa samopomocowe i inne.

W każdej polskiej dzielnicy: Saule, Gautherets, Baudras, Essarts, Bois-du-Verne znajdowali się przedstawiciele wszystkich bądź części tych stowarzyszeń. Poza tym, regionalny Komitet Związków obejmował również swoim zasięgiem mniejsze społeczności polskie w okolicy: le Creusot, Montchanin, Epinac, la Machine, czyli około 10 tysięcy osób.

Poza stowarzyszeniami katolickimi działał, dystansując się od kościoła i akcentując swoje cele polityczne i patriotyczne, mocno reprezentowany w Montceau-les-Mines Związek „Strzelec”. Jego członkowie ograniczali się jednak tylko do uprawiania lekkoatletyki, boksu oraz koszykówki, gdyż prawo francuskie zakazywało im posiadania broni.

Komitet Związków kierowany przez Stanisława Rychlika zrzeszał stowarzyszenia katolickie, ale on sam był jednocześnie przewodniczącym Związku Strzelców. Choć był oddanym patriotą, głęboko wierzącym katolikiem to jednak trochę antyklerykałem i wiernym wielbicielem Józefa Piłsudskiego.

Urodzony 22 września 1898 r. w Borku niedaleko Poznania, przyjechał do Francji w 1921 r. Niedługo potem dołączyła do niego jego młoda małżonka, a w przeddzień wojny doczekali się czworga dzieci. Aby powiększyć swoje dochody, Rychlik zamienił część swojego domu w sklepik spożywczy, świadczył także usługi fryzjerskie swoim kolegom górnikom. Ten mężczyzna wysokiego wzrostu był człowiekiem z zasadami mającym duży wpływ na swoje otoczenie.

Z całą pewnością, we wrześniu 1939 r. Stanisław Rychlik bardzo przeżył dramatyczne położenie Polski. Jak dla wszystkich emigrantów tak bardzo przywiązanych do swojego kraju, także dla niego, okupacja niemiecka po zaledwie 21 latach od odzyskania niepodległości,

seulement d'indépendance, constitue une tragédie incommensurable. Il va donc consacrer toute son énergie à engager le réseau associatif dans la lutte contre les Allemands.

En contact avec le Consul polonais de Lyon, il sait combien les conditions de vie des aviateurs exilés sont précaires par ce terrible hiver 1939, aussi bien à la base de Bron que dans les pavillons de la foire de Lyon où ils dorment. Une idée lui vient donc: leur offrir la chaleur d'un Noël familial, célébré comme au pays, dans un foyer du bassin minier; les Polonais de tous les quartiers auront ainsi l'occasion d'apporter un vrai soutien à leur armée.

L'idée reçoit un accueil enthousiaste et les principaux animateurs de la communauté, Walenty Smektala à la Saule, Andrzej Frackowiak aux Gautherets, s'activent à dresser des listes de familles d'accueil: les prêtres polonais s'en font les relais en chaire, en particulier Władysław Mateuszek aux Gautherets,

Le Commissaire de Police de Montceau-les-Mines est averti; le 12 décembre 1939, il transmet l'information au sous-préfet de Chalon-sur-Saône:

*«J'ai l'honneur de vous rendre compte (que) 350 soldats, aviateurs polonais stationnés actuellement à la base aérienne de Bron, doivent venir passer les fêtes de Noël en permission régulière dans les communes du bassin minier. A la demande du Comité d'Entr'aide polonais, ils seront reçus et hébergés pendant quatre jours par les familles de leurs compatriotes, originaires des mêmes régions».*

Le leader des associations polonaises du Creusot, Feliks Witkowski, emboîte le pas et veut participer à l'initiative; le 22 décembre, le commissaire de Police annonce au sous-préfet d'Autun la venue de 50 autres aviateurs

Epilogue: Après la défaite de juin 1940, la plupart de ces aviateurs gagneront l'Angleterre et y poursuivront le combat. Stanisław Rychlik organisera la Résistance dans le bassin de Montceau-les-Mines, en particulier des filières d'évasion et de franchissement de la ligne de démarcation. Il sera arrêté début 1943 avec ses deux fils aînés et mourra en déportation.

Le nom de Stanisław Rychlik vient d'être attribué à une place de Montceau-les-Mines (inauguration le 11 novembre 2021).

Gérard Soufflet,  
Octobre 2021, France

oznaczała niezmierną tragedię. Rychlik poświęcił się więc całkowicie zaangażowaniu wszystkich stowarzyszeń w walkę z Niemcami.

Będąc w stałym kontakcie z polskim konsulem w Lyonie doskonale orientował się jakie warunki panują w bazie lotniczej w Bron oraz w pawilonach międzynarodowych targów wystawienniczych w Lyonie, w których tymczasowo mieszkali lotnicy w zimie 1939 r. Pragnął więc zaprosić żołnierzy, aby podobnie jak w kraju, spędzili święta w rodzinnej atmosferze, celebrując je wśród rodzin z zagłębia węglowego. Wszyscy Polacy z regionu mieli okazję, aby w ten sposób prawdziwie wspomóc swoją Armię.

Pomysł zostaje entuzjastycznie przyjęty i najbardziej znane osoby wśród polskiej społeczności Walenty Smektala z Saule oraz Andrzej Frackowiak z Gautherets, pomagają stworzyć listy rodzin, które przyjmą lotników. Polscy księża głoszą tę informację podczas kazań, a szczególnie ma to na uwadze ksiądz Władysław Mateuszek w Gautherets.

Poinformowany o wszystkim komisarz policji z Montceau-les-Mines

12 grudnia 1939 r. pisze do zastępcy prefekta Chalon-sur-Saône:

*„Mam zaszczyt donieść, iż 350 polskich lotników stacjonujących obecnie w bazie lotniczej Bron spędzi święta Bożego Narodzenia przebywając na przepustkach w gminach zagłębia węglowego. Na prośbę polskiego Komitetu Wzajemnej Pomocy będą goszczeni przez 4 dni w polskich rodzinach pochodzących z tych samych regionów”.*

Lider polskich stowarzyszeń w Creusot, Feliks Witkowski, idzie za przykładem kolegów, skutkiem czego 22 grudnia komisarz policji zawiadamia zastępcę prefekta z Autun o przyjeździe kolejnych 50 lotników.

Epilog: Po kapitulacji Francji w czerwcu 1940 r. większość lotników dotrze do Wielkiej Brytanii gdzie będą dalej walczyć. Stanisław Rychlik będzie organizował Ruch Oporu w zagłębiu Montceau-les-Mines, a także kanały przerzutowe i przejścia przez linię demarkacyjną. Zostanie zatrzymany na początku 1943 r. wraz z dwoma najstarszymi synami i zginie deportowany. Imieniem Stanisława Rychlika został nazwany jeden z placów w Montceau-les-Mines w dniu 11 listopada 2021 r.

Gérard Soufflet, pracownik EDF,  
październik 2021r., Francja



**Fot. 3.** Décembre 1939 à Montceau-les-Mines L'aviateur Aleksander Pietrzak, futur as de la bataille d'Angleterre, chez la famille Paczynski-Kotecki

**Fot. 3.** Grudzień 1939 r., Montceau-les-Mines Pilot Aleksander Pietrzak, przyszły as lotnictwa w Bitwie o Anglię z rodziną Paczynski-Kotecki

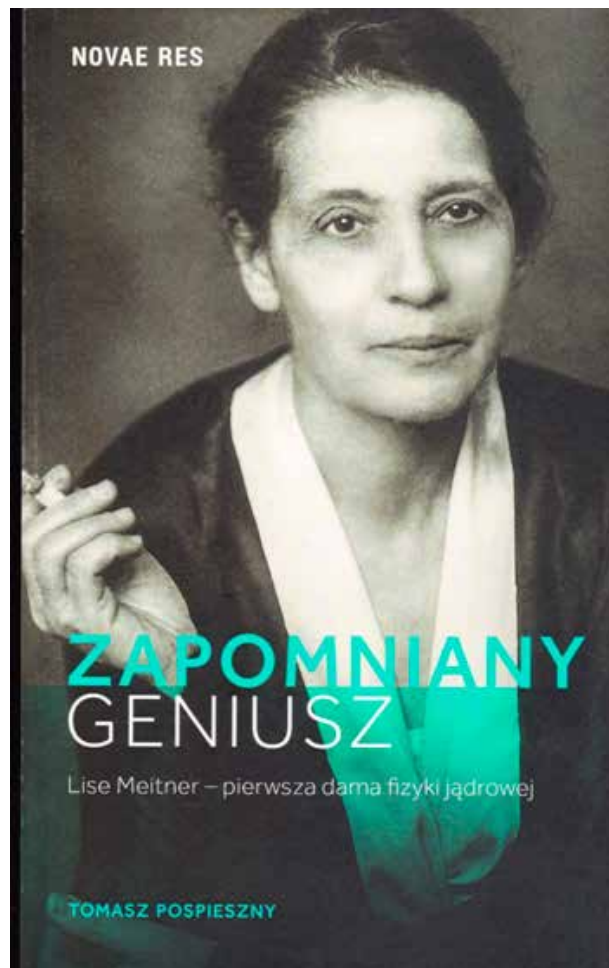


TOMASZ POSPIESZNY  
ZAPOMNIANY GENIUSZ  
LISE MEITNER-  
PIERWSZA DAMA  
FIZYKI JĄDROWEJ  
NOVAE RES 2016

Tomasz Pospieszny jest pracownikiem Wydziału Chemii Uniwersytetu Poznańskiego im. Adama Mickiewicza interesującym się historią nauk przyrodniczych. W książce ZAPOMNIANY GENIUSZ, przedstawił sylwetkę austriacko-niemieckiej uczonej Lisy Meitner na tle rozwoju podstawowych badań powstającej nowej dziedziny – fizyki jądrowej. Jest to jego druga publikacja opisująca trudną drogę kobiet w zdobyciu wyższego wykształcenia i kontynuacji kariery naukowej. Pierwsza publikacja tego autora opisywała historię starszej o dziesięć lat Marii Curie-Skłodowskiej. Ich życiorysy miały wiele podobieństw szczególnie w początkowym okresie zdobywania wykształcenia, ponieważ tylko nieliczne uniwersytety dopuszczały kobiety do studiów.

Lise Meitner ur. 17 listopada 1878 r. w Wiedniu zm. 27 października 1968 r. w Cambridge. Początki jej kariery naukowej były bardzo trudne ze względu na ograniczenia nie tylko w zdobywaniu wiedzy, ale i formalnym zakazom zatrudniania kobiet na uniwersytetach. L. Meitner pracując na uniwersytecie berlińskim utrzymywała się z udzielania lekcji francuskiego i pomocy rodziny, a w czasie pracy nie wolno jej było przebywać w salach wykładowych i nawet nie wolno było korzystać z toalety uniwersyteckiej. Tylko dzięki niezwykłemu hartowi ducha i pełnemu poświęceniu się pracy udało się jej uzyskać wybitną pozycję naukową wśród pionierów budujących zręby fizyki jądrowej. Jednak jej niezwykle bogaty dorobek naukowy nigdy nie został uhonorowany najbardziej prestiżową nagrodą, za jaką uważa się Nagrodę Nobla, do której była nominowana piętnaście razy przez najwybitniejszych fizyków między innymi Nielsa Bohra, Maxa Plancka. Albert Einstein mówił o niej, *jest naszą Madame Curie i to bardziej utalentowaną*.

Do chwili otrzymania nominacji profesorskiej i nawet potem współpracowała z Otto Hahnem. Jednym z największych jej sukcesów było teoretyczne wyjaśnienie zjawiska rozbicia jądra atomowego, którego w 1938 r. dokonał Otto Hahn wraz z Fritzem Strassmanem. W 1944 r. Otto Hahn otrzymał Nagrodę Nobla (odebrał ją w 1945 r. po wojnie) w dziedzinie chemii. Lise Meitner pominięto, nie uwzględniając jej wkładu. Wyjaśnienie to zostało przygotowane w czasie jej po-



Fot. 1. Okładka książki

bytu w Szwecji, gdzie przebywała, unikając prześladowań rasowych wprowadzonych przez władze po dojściu do władzy Hitlera. Jako osoba dorosła przeszła na protestantyzm i w 1906 r. została ochrzczona.

Książka zawiera bardzo wiele interesujących informacji o powstawaniu nowego działu – fizyki jądrowej, informacji o jego twórcach, szczególnie o uczonych niemieckich, o bliskich współpracownikach Lise Meitner, o jej rodzinie.

Opracowanie ma 441 stron, solidnie udokumentowane, zawiera indeks osób oraz kalendarium życia Lise Meitner.

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

## MOJE PRAWO ARCHIMEDESA, CZYLI EUREKA' 2022

Zbliżający się czas Świąt Bożego Narodzenia jest czasem szczególnym. A skoro zasłużył sobie na miano wyjątkowego przekroczyliśmy cezurę słownikowej konwencji felietonowej,<sup>1</sup> kiedy jeszcze możemy bez skrępowania (bezkarnie!?) korzystać z intelektualnej strefy Schengen.

Żyjemy w czasach, w których fizyka bardziej ożywia naszą wyobraźnię od metafizyki – orzekł w II połowie minionego stulecia Antoni Słonimski. Moda na fizyków na szczęście nie przemija. Są oni predestynowani do wykonywania nawet czynności dalekich od ich przygotowania zawodowego. Umberto Eco w zbiorze felietonów „Zapiski na pudełku od zapalek” w wielostronicowej zabawnej – pełnej finezyjnego dowcipu rozprawce „Jak pisać do katalogu wystawy” (1980) radzi:

*Jak stać się autorem katalogów artystycznych? Jest to niestety bardzo łatwe. Wystarczy wykonywać jakiś zawód wymagający pracy umysłowej (bardzo poszukiwani są fizycy jądrowi), mieć telefon zarejestrowany na własne nazwisko oraz cieszyć się pewną renomą na skalę międzynarodową – wyjąwszy San Marino i Andorę. Cóż, Umberto Eco nie wiedział jeszcze wtedy zupełnie nic o istnieniu San Escobar.*

Co chciałbym znaleźć pod bożonarodzeniową choinką? Książkę! Najlepiej przepisy na używanie rozumu. Antologia tekstów od epoki Archimedeasa do Chomsky'ego. Żadne wydawnictwo nie podjęło się jeszcze jej wydania? Naprawdę!? Szkoda! Znalezienie rozumu stanowi wszak zawsze ważne wydarzenie życia. I mam taką niepełną nadzieję, że w równym stopniu dotyczy zarówno mózgowi mniej dotychczas używanych, jak i tych utrudzonych już zmarszczkami myśli. Warto otrzymać rozum własny, a nie cudzy.

Miłośnicy kabaretu „Dudek” wiedzą, czym dla nieodżałowanego Jana Kobuszewskiego skończyło się znalezienie na ulicy czyjegoś mózgu. Nie powiodła się próba jego zwrotu prawowitemu właścicielowi. Tenże

<sup>1</sup> Nie wiem, czy z tego rodzaju żonglowaniem słowami byłby usatysfakcjonowany maksymalista językowej precyzji, prof. Stanisław Sierotwiński. Kiedy mój promotor podczas egzaminu magisterskiego, zamiast określenia książka użył wyrażenia: *pozycja wydawnicza*, prof. Sierotwiński cichym, ale stanowczym głosem zaproponował: *Kolego, pozycja jest przy stosunku...* Miał pełne prawo do protestu w imię językowej poprawności, gdyż był Autorem pierwszego w Polsce „Słownika terminów literackich”. W II wydaniu z roku 1966 swego „Słownika terminów literackich” (s. 88), podaje następującą definicję felietonu: *1. Krótki utwór beletrystyczny lub popularnonaukowy zazwyczaj przeznaczony do czasopisma. 2. Odcinek, dział w gazecie przeznaczony na utwór rozrywkowy, literacki lub rozprawę popularnonaukową.* Fakt, iż Profesor uznał treści związane z popularyzacją nauki za możliwe dla felietonowej odmiany ekspresji, wymownie świadczy o Jego dalekowzroczności. O czym dowodnie zaświadcza felieton Stanisława Lema, będące niedoścignutym przykładem prezentowania w felietonowej formie treści naukowej.



Fot.1. Marek Bielski

okazał się wysokim urzędnikiem, już po pechowej zgubie awansowany na jeszcze wyższe, czy nawet najwyższe stanowisko. I tenże awansowany nie tylko nie podziękował uczciwemu znalazcy, ale jeszcze potraktował go – nad wyraz – grubym słowem. A mózg był przecież prawie nowy. Praktycznie nieużywany. Co powinno (!?) uczynić stratę jeszcze bardziej dotkliwą.

Moje czterdzieści lat minęło (jak jeden dzień), a człek nic nie zdziałał na rzecz powszechnego dobra ludzkości. Wstydzę się, że usiadłem wygodnie w łożu szyderców, ironistów, kpiarzy i programowych narzekaczy. Acz gwoli ścisłości dodam, że nie na etacie, a nawet nie na umowie śmieciowej. Co mnie w dobie wilczego kapitalizmu de facto jeszcze bardziej pograża w społeczny (i finansowy) niebyt. Chcąc – mimo przeciwności losu – wnieść coś do skarbnicy wiedzy ogólnoludzkiej proponuję ...alternatywne prawo Archimedeasa. Głosi ono, że człowiek zanurzony w środowisku społecznym zupełnie odpornym na racjonalne argumenty traci na wadze posiadanego zdrowego rozsądku tyle, ile waży ów rozsądek, wyparty przez jego brak. Może coś jest tu na rzeczy? Jeśli jeden z najwybitniejszych intelektualistów współczesności, wnikliwy (i błyskotliwy) obserwator (i wizjoner) Noam Chomsky podzielił się poniższą refleksją: *Mam wrażenie, że już niedługo tolerancja dojdzie do takiego momentu, w którym mądrym ludziom zabronią myśleć, aby nie urazić uczuć ludzi głupich.*

W raporcie Międzynarodowej Agencji Energii (IEA) stwierdzono, że UE musi zaoferować większe wsparcie dla energetyki jądrowej, ponieważ stoi ona w obliczu największego spadku liczby działających reaktorów w krajach o zaawansowanych gospodarkach. Co może skutkować zmniejszeniem udziału energii jądrowej w bilansie energii elektrycznej z 25% w 2017 r. do 5% w 2040 r.

W świetle ostatnich niepowodzeń na polu dekarbonizacji gospodarki, przy ciągłych kłopotach z funk-

cjonowaniem energetyki konwencjonalnej i rosnących cen paliw, w tym oczywiście i gazu, nie branie pod uwagę ewidentnych atutów „ej” byłoby dowodem na prymat ideologii nad logiką.

I nie mam tu bynajmniej na myśli tylko sytuacji gospodarczej Polski. Opieranie się zdrowemu rozsądkowi zawsze po prostu źle wróży. Chciałoby się rzecz krótko: więcej prakseologii, mniej ideologii (wszelakich).

Traktat o dobrej robocie na sztandary! Nie należy odkładać do jutra tego, co można zrobić pojutrze. Też jestem tego samego zdania, podobnie jak i autor owej myśli. Niezwyciężony dotąd światowy mistrz paradoksu, Oskar Wilde. Mając na uwadze sukces naszej poznawczej aktywności wyciągnijmy też wniosek z powiedzenie najbardziej cenionego w XX stuleciu polskiego konstruktora samolotów odrzutowych, prof. Tadeusza Sołtyka. Zwykł życzliwie mawiać do współ-

pracowników: *Spróbujmy wyprostować to czegośmy jeszcze nie zginali.*

W ramach przyrzeczeń noworocznych – nawet za cenę zostania Ćwierciakiewiczową otwockiego życia intelektualnego – solennie obiecuję, że karnawał roku 2022 poświęcę próbom formułowania własnych przepisów generujących wysoce energetyzujący mix emocji i zdrowego rozsądku. A może uda się stworzyć w okolicach Mądralina zespół badawczy do spraw racjonalizacji racjonalności.

Marek Bielski,  
Przegląd Techniczny,  
Warszawa

Warszawa, 27.10.2021 r.

## PAN STANISŁAW LATEK REDAKTOR NACZELNY PTJ

*Szanowny Panie Redaktorze,*

Nasza wieloletnia współpraca wokół EJ dla Polski pozwoliła Panu i Redaktorowi Markowi Bielskiemu z „PT” przyjąć mnie do grona, teraz już trzech „Złotych Inżynierów” Przeglądu Technicznego w dziedzinie energetyki jądrowej. W PTJ nr 3/2021 zamieściliście Panowie nie tylko tekst (str. 56/57) wyjaśniający, to nieoczekiwane dla mnie wydarzenie, ale także wkleiliście Panowie zdjęcie z grudnia 2006 r. wykonane w gabinecie mgr inż. Sławomira Krystka, DN Towarzystwa Gospodarczego Polskie Elektrownie.

Na zdjęciu prezentuję obfity materiał o tym, jak należy przygotować budowę EJ w Polsce. Przekazałem go mgr inż. St. Porębie, który był już wtedy ekspertem w jednej z zagranicznych firm konsultingowych, a która w zamian opłaciła mój wyjazd i udział w Sesji Generalnej WANO w Chicago w 2007 r. (ostatniej, w której brałem udział, poprzednio przez 12 lat byłem przedstawicielem PSE S.A., a w 1989 r. z polecenia Rządu RP doprowadziłem do udziału Polski w procesie założycielskim WANO, ... do tego, że PSE S.A. jest członkiem założycielem WANO).

O WANO – Światowym Stowarzyszeniu Eksploatatorów Elektrowni Jądrowych (którego jedyną misją jest bezpieczeństwo i niezawodność eksploatacji elektrowni jądrowej) napisaliśmy: prof. dr hab. Stefan Chwaszczewski, dr inż. Andrzej Mikulski i ja w monografii pod redakcją naukową prof. dr hab. Kazimierza Jelenia i dr Zbigniewa Raua pt: „Energetyka Jądrowa w Polsce” (1158 stron), wyd. Walters Kluwer Polska Sp. z o.o., 2012 r. W tej samej monografii jest też nasz artykuł: mgr inż. Pawła Żbikowskiego i mój „...o elektrociepłowniach jądrowych dla Warszawy”.

*Przywołany do tablicy przez Redaktora Naczelnego PTJ, serdecznie dziękuję za „...gratulacje i zachętę do kontynuowania współpracy z naszym kwartalnikiem” - z wyrazami szacunku i życzeniami stale świetnej formy twórczej Redakcji i Autorom*

Jacek Bauriski



PROF. DR HAB.  
JERZY PEŃSKO  
(24.04.1924 – 28.07.2021)  
– WSPOMNIENIE

W dniu 28 lipca 2021 r. w wieku 97 lat zmarł prof. dr hab. Jerzy Peńsko, współzałożyciel i pierwszy dyrektor Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej, polski fizyk, członek założyciel Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej.



Fot.1. Prof. dr hab. Jerzy Peńsko

Jego życiorys, to historia powstania i rozwoju ochrony radiologicznej w Polsce, to historia walki entuzjazmu i zdrowego rozsądku z ignorancją i zaślepieniem ówczesnych władz, kiedy to przesłanki polityczne hamowały rozwój życia naukowego w Polsce.

Prof. dr hab. Jerzy Peńsko urodził się 24 kwietnia 1924 r. w Żyrardowie jako ósme dziecko w ubogiej robotniczej rodzinie.

Gdy miał 15 lat, nadszedł tragiczny wrzesień 1939 r. W tym najtrudniejszym okresie swojego życia (jak

sam pisał we wspomnieniach), służył jako szeregowy żołnierz w Związku Walki Zbrojnej, a potem w Armii Krajowej w plutonie łączności pod pseudonimem „Szczepan”. Jednocześnie zdobywał wykształcenie na tajnych kompletach w celu uzyskania świadectwa dojrzałości, co nastąpiło w lipcu 1945 r.

W październiku 1945, zdaje egzaminy wstępne i rozpoczyna studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Łódzkiej, ale w następnym roku zostaje absolwentem nowego kierunku studiów na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w sekcji pod nazwą Elektrotechnika Medyczna, zorganizowaną przez prof. Cezarego Pawłowskiego (później w 1951 r. nazwę wydziału zmieniono na Wydział Łączności).

Wydział ten stał się kuźnią przyszłej kadry naukowej polskiej atomistyki.

Kończy studia uzyskując stopień inżyniera elektryka oraz stopień magistra nauk technicznych. W końcu 1951 r., po rocznym, z nakazu pracy, zatrudnieniu w Fabryce Aparatów Rentgenowskich w Warszawie, otrzymuje stypendium zwane wówczas „aspiranturą”, której celem było zdobycie przez „aspiranta” stopnia naukowego „kandydata nauk” (były to odpowiedniki obecnie funkcjonujących studiów doktoranckich i doktoratu).

Studia aspiranckie odbywa na tym samym wydziale, zatrudniony na stanowisku adiunkta w Katedrze Radiologii Politechniki Warszawskiej, natomiast badania do swojej pierwszej pracy doktorskiej pt. „Lampowe przyrządy do pomiarów dawek promieni rentgenowskich i gamma” prowadzi w Pracowni Fizycznej Instytutu Onkologii, gdzie prof. Cezary Pawłowski zatrudnia Jego na stanowisku asystenta. W końcu roku 1956 został skierowany na trzymiesięczny staż naukowy w Instytucie Metrologii w Leningradzie, gdzie (jak pisze w swoich wspomnieniach) – wspólnie z innymi stażystami (m.in. z Janem Żyliczem) – zapoznawał się z konstrukcją i metodami wzorcowania przyrządów dozymetrycznych oraz wykonywał pomiary różnych pól promieniowania, wolny czas przeznaczając na zwiedzanie Ermitażu.

Niestety, z przyczyn politycznych nie dane było Panu Jerzemu przeprowadzenie obrony tej pracy, tytuł doktora nauk technicznych nadaje mu Rada Naukowa Instytutu Badań Jądrowych w Świerku dopiero w 1966 r. za pracę pt. „Niektóre własności naturalnego i sztucznego promieniowania jądrowego w Polsce z punktu widzenia dawek otrzymywanych przez ludność”.

Połowa lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku to okres intensywnego rozwoju polskiej atomistyki.



W medycynie, przemyśle oraz różnych gałęziach techniki, wchodzi do powszechnego użycia izotop promieniotwórcze.

Utworzony w 1954 r., z inicjatywy prof. Andrzeja Sołtana Zakład Fizyki Cząstek Elementarnych przy Polskiej Akademii Nauk, staje się zalążkiem Instytutu Badań Jądrowych w Świerku, w którym trwają prace nad uruchomieniem pierwszego w Polsce doświadczalnego reaktora jądrowego EWA.

W 1954 r. w Krakowie, z inicjatywy prof. Henryka Niewodniczańskiego, powstaje Instytut Fizyki Jądrowej, którego bazą badawczą jest cyklotron zakupiony w Związku Radzieckim.

Od 1955 r. działa w Warszawie Urząd Pełnomocnika Rządu do Spraw Wykorzystania Energii Jądrowej, gdzie w połowie 1956 r., zorganizowano grupę inżynierów do prac nad programem przyszłych działań w zakresie ochrony radiologicznej dla narastających potrzeb kraju.

Warto w tym miejscu wspomnieć nazwiska osób tak zasłużonych dla Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej. Byli to Ryszard Szepke, (zmarły także w tym roku) Tadeusz Musiałowicz, Adam Kuchciński i Jerzy Sokołowski.

Rok później, na rok przed rozpoczęciem działalności pierwszego badawczego reaktora EWA w Świerku, zarządzeniem Prezesa Rady Ministrów Nr. 164 z dn. 13 lipca 1957 roku, powstaje Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, jako odrębny instytut badawczy, który miał prowadzić niezależny i wiarygodny monitoring radiologiczny m.in. wokół tego obiektu jądrowego. Pełnomocnik Rządu do Spraw Wykorzystania Energii Jądrowej, z dniem 1 września 1957 r., powierza Panu Jerzemu pełnienie obowiązków Dyrektora Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej.

Okres blisko 15-letniej kadencji dyrektorskiej prof. Jerzego Pańsko – to okres uciążliwej pracy nad zorganizowaniem podstawowych struktur nowego Laboratorium, to również okres powstawania i intensywnego rozwoju kadry naukowej w nowej w Polsce dziedzinie, jaką była ochrona radiologiczna oraz tworzenie od podstaw infrastruktury pomiarowej, często budowanej własnymi siłami.

Przez pierwsze 12 lat Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej borykało się z trudnymi warunkami lokalowymi, siedzibą nowo powstałej placówki początkowo był pokój na terenie Zakładu Ochrony Zdrowia w Instytucie Badań Jądrowych przy

ulicy Dorodnej, później część Elektrociepłowni na Żeraniu. Dopiero w czerwcu 1970 r., Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej otrzymało własną siedzibę przy ulicy Konwaliowej 7, gdzie prowadzi działalność do dzisiaj.

W listopadzie 1958 r., gdy powołano Radę Naukowo-Techniczną CLOR, dyrektor Jerzy Peńsko został jej przewodniczącym. Pełnił tę funkcję w latach 1958–1960.

Nie sposób wymienić wszystkich zakresów działalności Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej w tamtych latach. Był to okres tworzenia centralnego systemu kontroli narażenia zawodowego, ewidencji licznie powstających w Polsce pracowni izotopowych, pierwszego pogotowia radiacyjnego, trwała walka o wycofanie z przemysłu farb radowych, problemy stwarzała kopalnia rudy uranowej i zakład przetwórczy dla uzyskiwania uranu.

Szczególne zasługi położył prof. Jerzy Peńsko w zakresie oceny narażenia ludności od niezbadanych do tej pory w Polsce tzw. naturalnych źródeł promieniowania, w tym również narażenia ludności od opadu promieniotwórczego przy próbnym wybuchach bomb jądrowych w atmosferze. Był inicjatorem badań narażenia ludności od gazowego produktu rozpadu radu Ra-226, którym jest radon Rn-222.

Od 1961 r. kieruje utworzoną wówczas w CLOR, Samodzielną Pracownią Pomiarów Tła Naturalnego. W pracowni prowadzone są pomiary tła promieniowania gamma, stężeń radonu w powietrzu atmosferycznym, powietrzu glebowym i w budynkach mieszkalnych.

Jak się okazuje problem narażenia na radon jest nadal ciągle aktualny, o czym świadczy ostatnia Dyrektywa Rady UE 2013/59/EURATOM oraz ostatnia nowelizacja polskiej ustawy Prawo atomowe.

Po 15 latach pełnienia funkcji dyrektora przez prof. Jerzego Pańsko, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej dysponowało już sporą kadrą pracowników z wyższym wykształceniem: fizyków, chemików, geologów, inżynierów oraz techników różnych specjalizacji, a także wykwalifikowanych pracowników warsztatu mechanicznego dysponującego wszystkim niezbędnym sprzętem mechanicznym.

W czasie pełnienia przez prof. Jerzego Pańsko funkcji Dyrektora, naukowcy ze Stanów Zjednoczonych Ameryki Północnej, Włoch, Węgier, Czechosłowacji i Niemieckiej Republiki Demokratycznej przy-

jeźdzali do Warszawy, aby zapoznać się bliżej z naszą placówką i organizacją prac kontrolnych i naukowych w zakresie ochrony radiologicznej.

Problemy i rozwój ochrony radiologicznej w Polsce, widział Profesor w znaczenie szerszym kontekście poza instytutowym. Widząc pilną wówczas potrzebę współpracy fizyków z lekarzami i zapewnienia warunków rozwoju fizyki medycznej w Polsce, uczestniczył w tworzeniu Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej. Zebranie Członków Założycieli PTFM odbyło się 5 lutego 1965 r., pierwsze władze powołano 30 września 1965 r. W tym samym roku, na I Zjeździe Międzynarodowej Organizacji Fizyki Medycznej (IOMP) w Harrogate, PTFM przyjęto do tej organizacji. W latach 1968–1969 Jerzy Peńsko pełnił funkcję Sekretarza Generalnego PTFM, a w latach 1971–1981 i 1987–1989 był przewodniczącym Rady Redakcyjnej czasopisma „Polish Journal of Medical Physics and Engineering”.

Niestety kadencja dyrektorska prof. Jerzego Peńsko przypadła na bardzo trudny okres kryzysu politycznego po marcu 1968 r., po którym nastąpiło szczególnie upartyjnienie stanowisk kierowniczych.

Osoba bez przynależności partyjnej i niegwarantująca ścisłego przestrzegania wytycznych partii rządzącej przez lojalnego kierownika tak ważnej dla kraju w tym okresie instytucji z perspektywą spodziewanej wojny jądrowej, przestała być tolerowana przez ówczesne władze.

W maju 1971 r. prof. Jerzy Peńsko zostaje odwołany z funkcji dyrektora CLOR i przeniesiony do Instytutu Badań Jądrowych w Świerku do Zakładu Ochrony przed Promieniowaniem na stanowisko samodzielnego pracownika naukowo-badawczego.

Czas ten wykorzystuje do przygotowania rozprawy habilitacyjnej i uzyskuje stopień naukowy doktora habilitowanego w styczniu 1975 r.

W maju 1993 r. otrzymuje tytuł profesora nauk biologicznych nadany przez Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Lecha Wałęsę.

Z Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej nie rozstał się jednak ostatecznie i po 23 latach, trzeci już z kolei dyrektor Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej, prof. dr hab. Sławomir Sterliński, zatrudnia Go w październiku 1994 r. w charakterze profesora-konsultanta.

W Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej pracuje do maja 2002 r, przechodząc ostatecznie na emeryturę, a uroczyste pożegnanie z Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej odbyło się w 2002 r. na posiedzeniu Rady Naukowej.

Podarunek profesora dla CLOR, własnoręcznie namalowany przez Niego obraz pt. „Martwe Drzewa” do dziś wisi w gabinecie dyrekcji. Nadal utrzymuje żywe kontakty z Instytutem i środowiskiem ochrony radiologicznej, w następnych latach był aktywnym uczestnikiem seminariów CLOR, wykazując się niespożytą energią i jasnością stawianych problemów. Mieliśmy również zaszczyt gościć profesora na obchodach 60-lecia Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej w 2017 r.

Jego wspaniale napisana, niezwykła biografia pt. *Historia części Jednego Życia i Jednego ukochanego Laboratorium, Niecodzienna biografia naukowca na 60-lecie Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej*, (wspomniana powyżej), została wydrukowana w monografii powstałej na 60-lecie CLOR pt. „KRONIKA I WSPOMNIENIA – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej”.

Zapamiętamy Go nie tylko, jako pioniera i organizatora polskiej ochrony radiologicznej, znakomitego fachowca, ale też, jako człowieka zawsze pogodnego, życzliwego, otwartego na innych ludzi, zwłaszcza na Instytut i jego problemy, inicjującego, ale i realizującego nowe pomysły i inicjatywy.

dr Paweł Krajewski,  
Dyrektor,  
Centralnego Laboratorium  
Ochrony Radiologicznej,  
Warszawa

# 10-LECIE MUZEUM POLITECHNIKI OPOLSKIEJ I LAMP RENTGENOWSKICH

OPOLE, 8 listopada 2021



*Uczestnicy Jubileuszu 10-lecia w reżimie sanitarnym*



*Prof. Marcin Lorenc  
Rektor Politechniki Opolskiej*



*Prowadzący spotkanie Andrzej Czernik,  
dyrektor Teatru Eko Studio*

# 10-LECIE MUZEUM POLITECHNIKI OPOLSKIEJ I LAMP RENTGENOWSKICH

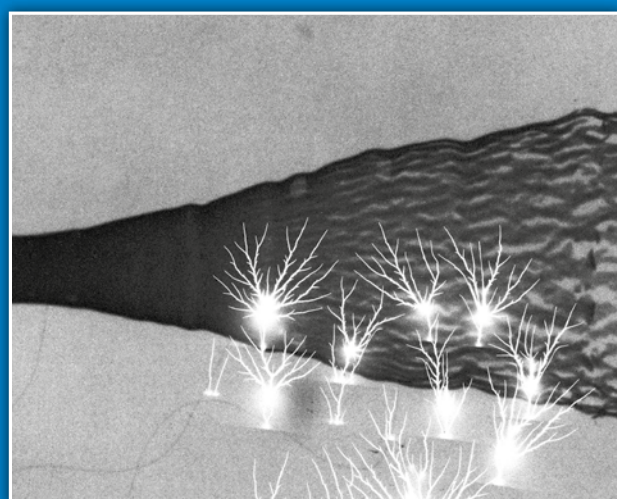
OPOLE, 8 listopada 2021



Redaktor naczelny PTJ Stanisław Lątek składa gratulacje władzom uczelni i dr Grzegorzowi Jezierskiemu



Przybyłe na uroczystość zasłużone dla muzeum osoby otrzymały pamiątkowe oryginalne zdjęcia wykonane techniką rentgenowską



Radiogram wybuchowo rozłaczanej rury wykonany techniką analogową na błonie radiograficznej (później zeskanowany)



Lampa do fluorescencji rentgenowskiej zaprojektowana dla NASA i zamontowana na ramieniu łazika marsjańskiego