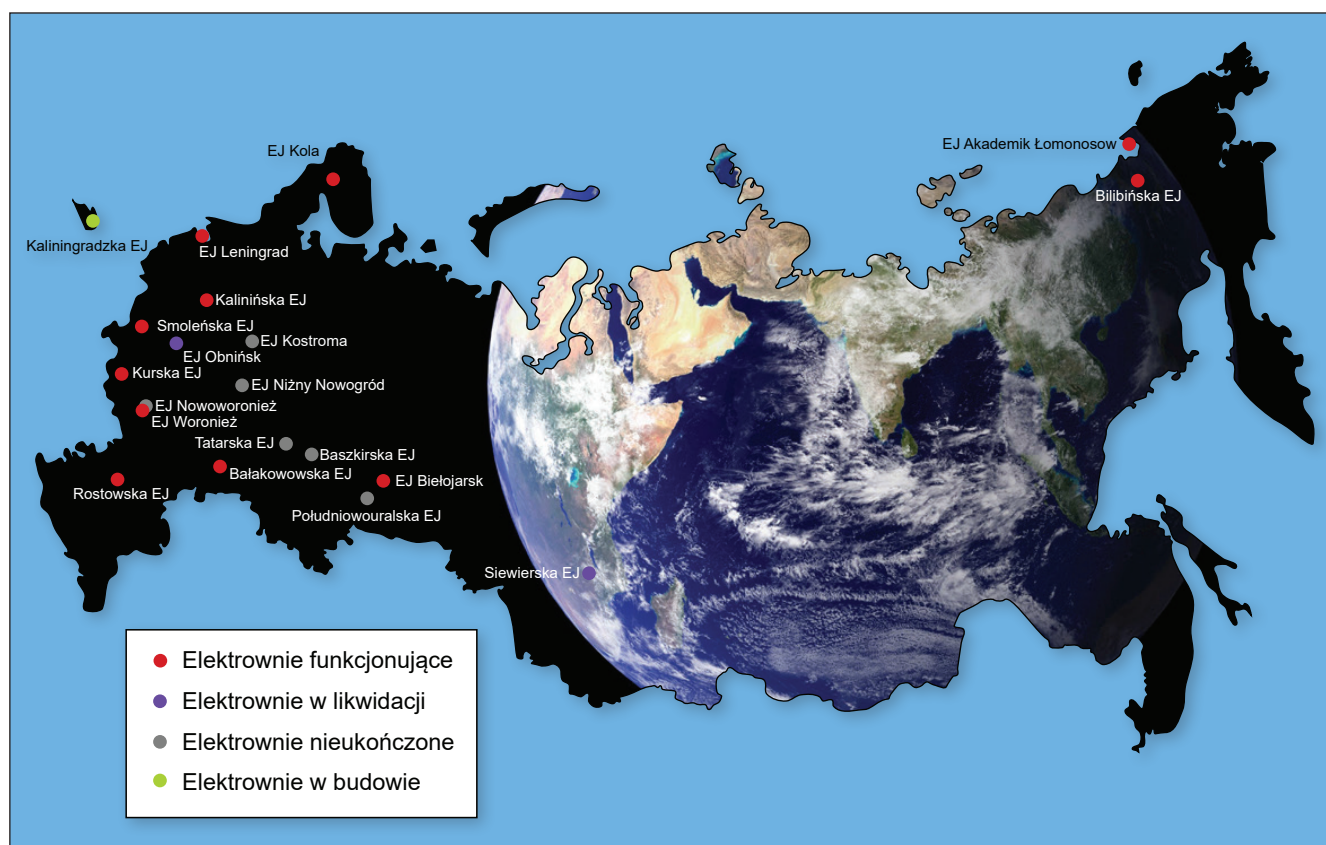


POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 63 Z. 1 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2020



Elektrownie Jądrowe w Rosji

czytaj na str. 12

1-2020

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ:
DUŻE REAKTORY ENERGETYCZNE CZY MAŁE
MODUŁOWE REAKTORY?

Józef Sobolewski.....2

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA
W 2019 ROKU?

Ireneusz Owsianko.....6

ROSJA POZA GRANICAMI...

Piotr Leśny.....12

BADANIA NIENISZCZĄCE - WERYFIKACJA
MATERIAŁÓW JĄDROWYCH

Krzysztof Rzymkowski.....31

MARIA SKŁODOWSKA-CURIE – SUPLEMENT BIOGRAFII

Tomasz Goworek.....25

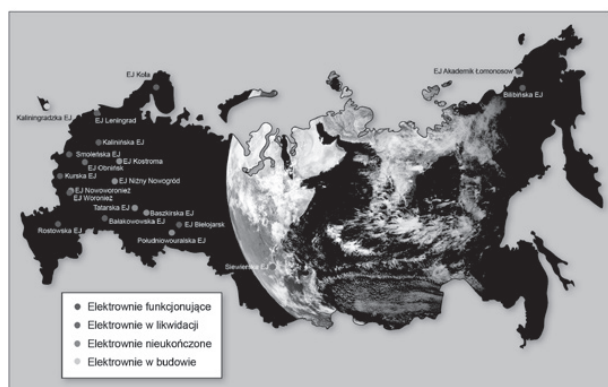
DONIESIENIA Z KRAJU43

DONIESIENIA ZE ŚWIATA52

WYDARZENIA55

INFORMACJE O KSIĄŻKACH56

IN MEMORIAM59



Elektrownie Jądrowe w Rosji

więcej informacji na str. 12

Kwartalnik naukowo-informacyjny
Postępy Techniki JądrowejWydawca:
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej
ul. Dorodna 16, 03-195 Warszawa,Kontakt Telefoniczny:
Tel. 22 504 12 48
Fax.: 22 811 15 32Redaktor naczelny:
Stanisław Latek
S.Latek@ichtj.waw.plKomitet redakcyjny:
Wojciech Głuszewski
Maria Kowalska
Łukasz Sawicki
Marek Rabiński
Edward Rurarz
Elżbieta ZalewskaWspółpracują z nami:
Andrzej Mikulski
Małgorzata Sobieszczyk-Marciniak
Małgorzata Nowina-KonopkaRedakcja:
PTJ-redakcja@ichtj.waw.plAdres strony internetowej PTJ:
<http://ptj.waw.pl>Opracowanie graficzne:
Hubert Stańczyk (Agencja Reklamowa TOP)Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.Recenzowanie artykułów
Większość manuskryptów przesyłana jest do recenzowania
przez 1-2 ekspertów z dziedziny, której dotyczy artykuł. Na
podstawie opinii recenzentów artykuły są akceptowane do
druku, kierowane do poprawy, lub odrzucane.Prenumerata
Zamówienia na prenumeratę kwartalnika
POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ
należy składać na adres redakcji jak wyżej.
Wpłaty proszę przekazać na konto:
Bank Pekao SA,
45 1240 3480 1111 0000 4278 2935
Koszt prenumeraty rocznej
(4 zeszyty łącznie z kosztami przesyłki) wynosi 50 zł.
Składając zamówienie należy podać adres osoby
lub instytucji zamawiającej, na który
ma być przesłane czasopismo oraz numer NIP.Skład i druk:
Agencja Reklamowa TOP,
ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek

Szانونi Państwo

Piszę ten tekst 20 marca br. kilka dni temu media przytoczyły następującą wypowiedź pełnomocnika rządu ds. strategicznej infrastruktury energetycznej Piotra Naimskiego. „Decyzje w sprawie wyboru partnera w realizacji polskiego programu budowy energetyki nuklearnej powinny zapaść w ciągu najbliższych 10-12 miesięcy”. Decyzje dotyczyć będą wyboru technologii, lokalizacji, ale przede wszystkim wyboru partnera, dlatego, że my potrzebujemy partnera dla tego programu, który będzie z nami budował te elektrownie, będzie z nami w fazie ich eksploatacji i pozostanie z nami aż do końca ich istnienia. To jest partnerstwo, które będzie trwało 60-80 lat. Jesteśmy w perspektywie podejmowania decyzji, które będą skutkowały przez dekady; może dlatego zastanawiamy się nad tym głęboko, i partner, którego potrzebujemy, to musi być ten, z którym będziemy chcieli zostać na tak długo” – mówił minister, potwierdzając, że będzie to jeden partner. Są to ważne słowa. Jednak sytuacja wynikająca z epidemii koronawirusa jest bardzo trudna i złożona. „Polski rząd działa, zakładając kilka scenariuszy w związku z koronawirusem. Realistyczno-pesymistyczny to powrót do normalnego funkcjonowania po świętach wielkanocnych, ale trzeba się przygotować także na scenariusze trudniejsze. Nawet najgorszy, który zakłada rząd brytyjski, czyli trwanie epidemii do wiosny 2021 r.” – mówi Jarosław Gowin na antenie Polskiego Radia 24.

Polski program energetyki jądrowej nie jest w obecnej sytuacji szczególnie ważny. Mimo to jako redakcja czasopisma poświęconego problematyce jądrowej zamierzamy nadal publikować artykuły i doniesienia dotyczące szeroko rozumianej nukleoniki. Pierwszy artykuł w bieżącym numerze dotyczy często obecnie dyskutowanej kwestii: jakie reaktory powinny być budowane w Polsce. Tytuł artykułu: PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ: DUŻE REAKTORY ENERGETYCZNE CZY MAŁE MODUŁOWE REAKTORY? Odpowiedź autora dr. Józefa Sobolewskiego na pytanie sformułowane w tytule jest następująca: W polskich warunkach osoby sugerujące wstrzymanie programu jądrowego opartego o generację 3+ i oczekiwanie na nieistniejące jeszcze skomercjalizowane rozwiązania oparte o SMR, są tak naprawdę przeciwnikami wdrożenia energetyki jądrowej w Polsce. Dla Polski jak najszybszy rozwój energetyki jądrowej to kwestia naszej suwerenności politycznej i energetycznej, a także osiągnięcia celów klimatycznych. Dla świata to nie tylko dostęp do taniej i gwarantowanej energii, ale jedyna możliwość ograniczenia użycia paliw kopalnych i osiągnięcia realnej redukcji emisji gazów cieplarnianych w skali globalnej.

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2019 ROKU – taki jest tytuł kolejnego artykułu w niniejszym numerze PTJ. Jego autorem jest Ireneusz Owsianko. Wysokostromieniowy reaktor badawczy MARIA, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, wykorzystywany jest do produkcji radioizotopów oraz do prowadzenia badań z wykorzystaniem wiązek neutronów. W artykule opisano parametry techniczne reaktora i charakterystykę jego pracy w 2019 r. Warto zauważyć, że w ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2019 r., reaktor MARIA odwiedziło około 5500 uczniów szkół średnich i studentów uczelni wyższych z terenu całej Polski oraz około 500 osób w czasie dni otwartych zorganizowanych w październiku tego roku. W podsumowaniu artykułu autor stwierdza, że praca reaktora w 2019 r. przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz spełnianie warunków bezpiecznej eksploatacji.

Trzeci, dość obszerny artykuł opisuje energetykę jądrową w Rosji, a w szczególności zaangażowanie Federacji Rosyjskiej w zagraniczne projekty jądrowe. Rosja jest w tej chwili największym eksporterem technologii jądrowych na świecie. Kluczowym rosyjskim graczem w tej dziedzinie jest korporacja ROSATOM. Artykuł przybliża zagadnienie rosyjskiej dominacji w dziedzinie eksportu technologii jądrowych z punktu widzenia dozoru jądrowego i zarządzania korporacją. Autorem opracowania o rosyjskich zagranicznych projektach jądrowych jest Piotr Leśny, który opublikował w naszym czasopiśmie artykuły pod tytułami ATOMOWA AUSTRALIA oraz ENERGETYKA JĄDROWA... PO CHIŃSKU. Dr Krzysztof Rzymkowski, sekretarz generalny SEREN-u i stały autor tekstów w naszym kwartalniku tym razem publikuje tekst BADANIA NIENISZCZĄCE – WERYFIKACJA MATERIAŁÓW JĄDROWYCH. Zadaniem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej jest kontrola wypełniania warunków Traktatu o Nierozprzestrze-

nianiu Broni Jądrowej (Non-Proliferation of Nuclear Weapons Treaty – NPT), przez sygnatariuszy układu. Realizacja tego celu jest osiągana przez długoterminowe, okresowe sprawdzanie, czy nie nastąpiło przesunięcie materiałów jądrowych z zastosowań pokojowych do militarnych umożliwiające wytworzenie jądrowych urządzeń wybuchowych. Podstawą systemu kontroli jest ewidencja materiałów jądrowych, prowadzona oddzielnie dla każdego rejonu bilansu materiałowego, zawierająca informacje o materiale jądrowym (składzie, ilości, lokalizacji, zmianach składu, ruchu materiału). Potwierdzenie deklarowanych informacji uzyskuje się poprzez dokonywanie w czasie inspekcji różnego rodzaju pomiarów tzw. badań nieniszczących (non – destructive analysis – NDA). Szczegóły w omawianym artykule.

Ostatni tekst w części artykułowej niniejszego numeru poświęcony jest Marii Skłodowskiej-Curie. Autor, prof. Tomasz Goworek pisze w streszczeniu: „W artykule MARIA SKŁODOWSKA-CURIE – SUPLEMENT BIOGRAFII można wyróżnić dwa tematy: Pierwszy to próba innego spojrzenia na znane fakty z jej biografii: – starania o członkostwo Akademii Nauk (nie antyfeminizm, a raczej ksenofobia), – francuska wojskowa służba radiologiczna (poziom techniczny a zastosowania praktyczne), – cena radu (rola rynku). Drugi temat to przedstawienie nieznanego lub mało znanego, faktów z życiorysu Marii: – jej praca we Włoszech w 1918 r. w poszukiwaniach złóż rud uranu i oznaczaniu zawartości radonu w źródłach wód mineralnych, – podróż do Brazylii, – mniej znane fakty z życia jej przodków (dziadkowie, stryj Zdzisław). Tekst wzbogacony jest o ciekawe, mało znane, często niepublikowane nigdzie zdjęcia.

Drugą część omawianego zeszytu PTJ otwiera informacja przygotowana przez Dorotę Korniszewską zawierająca ANALIZĘ UCZESTNICTWA POLSKI W PROGRAMIE EURATOM-FISSION. Warto wiedzieć, że jak podaje Krajowy Punkt Kontaktowy Programów Badawczych UE, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej zajmuje drugie miejsce (po NCBJ) wśród polskich organizacji najaktywniejszych w poszukiwaniu i pozyskiwaniu funduszy z programu H2020 EuratomFission.

Niżej podpisany uczestniczył w uroczystości wręczenia POLSKO-FRANCUSKIEJ NAGRODY NAUKOWEJ IM MARII SKŁODOWSKIEJ I PIERRE'A CURIE. Relacja publikowana jest w dziele „Doniesienia z kraju”.

Stowarzyszenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej zorganizowało w Poznaniu konferencję na temat ustawy z dnia 13 czerwca 2019 r., o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. poz. 1593). Dokument ten wprowadził szereg zmian dotyczących wymagań bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej. Celem spotkania było odpowiedzenie na pytania, co zmienia nowe uregulowania w pracy inspektorów ochrony radiologicznej? Problem dotyczy między innymi: reglamentacji działalności związanej z narażeniem, uprawnień pracowniczych oraz kontroli narażenia pracowników. Szczegóły można znaleźć w relacji z wydawnicza przygotowanej przez Wojciecha Głuszewskiego i Marię Kubicką.

Kolejne doniesienia dotyczą, między innymi, XV SZKOŁY STERYLIZACJI I MIKROBIOLOGICZNEJ DEKONTAMINACJI RADIACYJNEJ oraz V POLSKO-FRANCUSKIEGO FORUM NAUKI I INNOWACJI.

Wśród doniesień ze świata znajda Państwo informację o 6TH CENTRAL & EASTERN EUROPE NUCLEAR INDUSTRY CONGRESS 2020, JANUARY 20-21, PRAGUE, CZECH REPUBLIC. W Kongresie tym brał udział dyrektor IChTJ prof. Andrzej Chmielewski. W części kwartalnika poświęconej prezentacji ważnych wydarzeń publikujemy wzruszający list seniora atomisty, docenta Tadeusza Musiałowicza oraz relację dra Andrzeja Mikulskiego z debaty w Sejmie.

W dziale „Informacje o książce” Krzysztof Rzymkowski omawia ważną i ciekawą książkę ENERGIA DLA KLIMATU.

Podobnie jak w niemal każdym numerze naszego czasopisma publikujemy informacje/wspomnienia o Zmarłych. Tym razem wspominamy Andrzeja Furtka, wieloletniego pracownika PAA oraz prof. Zbigniewa Szota wybitnego radiobiochemika.

I obejrzyjcie Państwo nasze okładki!!! Tak jak poprzednio życzyć Państwu — po ciepłej jesieni i zimie — pięknej, zielonej, wiosny, która spowodowałaby ... odejście koronawirusa!

Stanisław Latek,
redaktor naczelny

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ: DUŻE REAKTORY ENERGETYCZNE CZY MAŁE MODUŁOWE REAKTORY?

Polish Nuclear Energy Programme: Large Power Reactors or Small Modular Reactors?

Józef Sobolewski

Streszczenie: W artykule autor polemizuje z opiniami uznającymi energetykę jądrową, jako technologię przestarzałą w stosunku do technologii odnawialnych, jak i też krytycznie odnosi się do opinii promujących technologię małych reaktorów jądrowych w rozwiązywaniu problemów energetycznych Polski.

Abstract: In the article, the author argues with opinions recognizing nuclear power as an outdated technology in relation to renewable technologies, and also critically refers to opinions promoting the technology of small nuclear reactors in solving Poland's energy problems.

Słowa kluczowe: lekko-wodny reaktor (LWR) także oznacza reaktor energetyczny, mały modułowy reaktor (SMR), Program Polskiej Energetyki Jądrowej.

Keywords: light water reactor (LWR) also means power reactor, small modular reactor (SMR), Polish Nuclear Power Programme.

Jeśli chcemy o czymś sensownie dyskutować, to warto wiedzieć, o czym i mieć choćby podstawową wiedzę na ten temat. Czasy umożliwiające publiczną wypowiedź każdemu, do tego często w sposób anonimowy, nie stymulują do wymogów zawartych w poprzednim zdaniu. Tytułowe pytanie dotyczące energetyki jądrowej jest znakomitą tego przykładem w ostatnich miesiącach. Autorytatywne wypowiedzi osób, charakteryzujące się często niewiedzą potęgują tylko zamieszanie. W niniejszym, artykule chciałbym skomentować często poruszaną kwestię „innowacyjności” technologii służącej wytwarzaniu energii elektrycznej.

W mediach od długiego już czasu dyskutuje się o różnych technologiach wytwarzania energii elektrycznej, przypinając im łatkę technologii innowacyjnych lub przestarzałych albo wręcz nawet anachronicznych. Co ciekawe technologię jądrową często przedstawia się, jako przestarzałą, a inne technologie zwłaszcza związane z tzw. źródłami odnawialnymi, jako innowacyjne czy nowoczesne. Chciałbym tym „ekspertom” przypomnieć, że pierwszymi elektrowniami o charakterze komercyjnym były hydroelektrownie, fakt dzisiaj zaliczane do odnawialnych, a dopiero potem zaczęto używać elektrowni ciepłych, które aż do dziś wyparły wszystkie inne z dość oczywistych, bo ekonomicznych powodów. Pierwsze wiatraki do produkcji energii elektrycznej uży-

to już pod koniec XIX wieku, oświeślały szkołę. Zasada była taka jak dziś, z tym tylko, że zrobiono to bardziej inteligentnie niż dzisiejsze rozwiązania, bo wytworzona energia ładowała akumulatory, które następnie oświeślały szkołę po zmierzchu. Dzisiejsi zwolennicy wiatraków każą innym martwić się o los wytworzonej przez nich energii. Ogniwa fotowoltaiczne też nie są najnowszym wynalazkiem, pomijając fakt, że zjawisko znane jest od ponad półtora wieku, to już w okresie międzywojennym w Nowym Jorku używano paneli słonecznych bazujących na selenie do wytwarzania energii elektrycznej. To, że obie te technologie się nie przyjęły, wynikało z prostego rachunku ekonomicznego, kosztów wytworzenia energii elektrycznej w dużej skali. Tak naprawdę najmłodszą technologią wytwarzania energii elektrycznej jest technologia jądrowa zastosowana po raz pierwszy w połowie XX wieku.

Niestety, wśród zwolenników energetyki jądrowej też mamy do czynienia z podobną dyskusją, w którym technologię dużych reaktorów energetycznych LWR uznaje się za przestarzałą, zaś technologię SMR za tę innowacyjną, czy przyszłościową. Ostatnio przeczytałem nawet, że technologia SMR to rozwój ostatnich 10 lat. Nic bardziej mylnego, otóż SMR-y były na początku, ale o tym później. W polskich warunkach osoby sugerujące wstrzymanie programu jądrowego opartego o generację 3+ i poczekanie na nieistniejące jeszcze skomercjalizowane roz-

wiązania oparte o SMR, są tak naprawdę przeciwnikami wdrożenia energetyki jądrowej w Polsce.

Dla Polski jak najszybszy rozwój energetyki jądrowej to kwestia naszej suwerenności politycznej i energetycznej, a także osiągnięcia celów klimatycznych. Dla świata to nie tylko dostęp do taniej i gwarantowanej energii, ale jedyna możliwość ograniczenia użycia paliw kopalnych i osiągnięcia realnej redukcji emisji gazów cieplarnianych w skali globalnej.

Duże czy małe reaktory od strony technologii

Przyglądając się rozwiązaniom LWR i SMR warto w tym miejscu przypomnieć kilka podstawowych faktów dotyczących technologii jądrowej. Istnieje wiele różnych rodzajów reaktorów jądrowych wytwarzających ciepło w oparciu o proces rozszczepienia jądra atomowego. Możemy dzielić reaktory ze względu na typ reakcji (np. termiczne czy prędkie), użyte paliwo (obecnie głównie uran), moderator (najczęściej woda lub grafit), chłodziwo (najczęściej woda, ale także gaz, stopione sole czy metale), konstrukcję (np. zbiornikowe czy kanałowe), generację (w ramach polskiego programu najwyższa komercyjnie dostępna generacja 3+) i przeznaczenie (energetyczne, napędowe, badawcze czy militarne). Oczywiście istnieją także inne bardziej związane z technologią podziały.

Paliwo, a właściwie jego dostępność jest kluczowa dla komercjalizacji technologii i często podnoszona przez przeciwników energetyki jądrowej, jako rzekome ograniczenie. Obecnie w zdecydowanej większości, jako paliwo używany jest uran, a konkretnie jego izotop ²³⁵U. Uran występuje naturalnie w skorupie ziemskiej i choć nie jest pierwiastkiem stabilnym (okres półrozpadu najtrwalszego izotopu to około 4 mld lat), to jest pierwiastkiem występującym powszechnie. Dostępność uranu zależy wyłącznie od kosztów jego pozyskania. Zasoby dostępne po obecnych kosztach wydobycia szacowane są na kilkaset lat, przy włączeniu recyklingu wypalonych elementów kilkadziesiąt tysięcy lat, a przy wydobyciu z wody morskiej (w pracach badawczych koszt szacowany na 3-4 krotność obecnej ceny uranu) starczy go nam na miliony lat. Ponieważ koszt paliwa ma stosunkowo niewielki udział w koszcie produkowanej energii elektrycznej, mówienie o ograniczonych zasobach paliwa jest zwyczajną nieprawdą.

Inną możliwością jest użycie, jako paliwa plutonu (Pu) produkowanego obecnie głównie w celach militarnych. Pluton ze względu na krótki okres półrozpadu (najtrwalszy izotop około 80 mln lat) nie występuje naturalnie w skorupie ziemskiej, jednakże może być łatwo produkowany z naturalnie występującego izotopu ²³⁸U. Przy odpowiedniej konstrukcji, taki reaktor (powielają-

cy) używający neutronów prędkich, produkuje więcej paliwa, niż go sam zużywa.

Paliwem przyszłości w reaktorach rozszczepialnych nowego typu może stać się tor (Th). Pierwiastek ten występuje w skorupie ziemskiej naturalnie, a ze względu na jego długi okres półrozpadu (najtrwalszy izotop około 14 mld lat) szacuje się, że jest go w skorupie 6-krotnie więcej niż uranu.

Co różni oba rozwiązania?

Wracając do kwestii LWR czy SMR należy wyraźnie podkreślić, że jedyną różnicą pomiędzy nimi jest ... fizyczna wielkość. W przeciwieństwie do dużych reaktorów energetycznych (powyżej 3000 MWt mocy termicznej) typu LWR budowanych, a właściwie często składanych na miejscu budowy elektrowni, przyjmuje się, że reaktory SMR będą produkowane w fabryce, a na placu budowy elektrowni przywożone i instalowane. Można to sobie wyobrazić, jako jeden kompletny moduł gotowy do instalacji, ale także, jako kilka (dosłownie) modułów składanych na miejscu instalacji. Należy podkreślić, że definicja SMR nie jest jednoznaczna. Jednakże kompaktowość SMR oznacza znacznie mniejszą moc, o ile klasyczne reaktory LWR mają moc od 900 do 1600 MWe (mocy elektrycznej), to istniejące projekty reaktorów SMR mają moc od 5 do 200 MWe (MAEA przyjmuje się też, jako górną granicę 300 MWe). Ponieważ nie jest moim celem dyskusja o nomenklaturze, przyjmijmy, że SMR to reaktory małej mocy produkowane w fabryce, składające się z jednego lub kilku modułów, instalowane na miejscu użytkowania.

Historyczny rozwój reaktorów jądrowych nie rozróżniał w zasadzie skali wielkości. Reaktory na początku miały małą moc, zwłaszcza że, były używane głównie przez wojsko do produkcji plutonu, albo w celach napędowych. Pierwsze reaktory komercyjne też nie były duże i miały kolejno 5, 50 i 60 MWe (radziecki, brytyjski, amerykański). Warto wspomnieć, że ten ostatni był pierwszym reaktorem wodnym ciśnieniowym (typ PWR), technologii, która dominuje dziś w energetyce jądrowej. Można więc powiedzieć, że historia reaktorów jądrowych rozpoczęła się od SMR-ów. Reaktory służące wyłącznie celom energetycznym zaczęto budować coraz większe, ponieważ prosta ekonomia mówi, że im większa moc, tym niższa cena jednostkowa wytworzonej energii. Niestety, wzrost wielkości spowodował także wzrost jednostkowej ceny reaktora, jak i całego bloku energetycznego.

Trwający dziesiątki lat rozwój komercyjnych reaktorów energetycznych spowodował także dominację pewnych rozwiązań technologicznych i ich dostawców. Obecnie dostępne są zasadniczo trzy technologie w zastosowaniach energetycznych, to wspomniany już PWR

(lekko-wodny ciśnieniowy), BWR (lekko-wodny wrzący) oraz PHWR (ciężko-wodny ciśnieniowy). W reaktorach tych woda jest zarówno chłodziwem, jak i moderatorem. Istnieje jeszcze kilkanaście innych rozwiązań, w części także użytych komercyjnie. Tylko dla przypomnienia reaktor z Czarnobyla nie był żadnym z powyższych i używał, jako moderatora grafitu, nie wody. Ponad 2/3 zainstalowanych obecnie na świecie reaktorów w elektrowniach jądrowych to reaktory PWR. Technologią budowy dużych reaktorów energetycznych dysponują obecnie takie kraje jak: USA, Japonia, Rosja, Chiny, Francja, Kanada i Korea Południowa. Lista ta kiedyś była dłuższa.

W innym kierunku poszedł rozwój małych reaktorów używanych głównie w celach militarnych i badawczych. O ile reaktory badawcze oprócz użycia w badaniach naukowych były najczęściej testerami różnych technologii, to reaktory wojskowe używane w celach napędowych (typ PWR) rozwinęły się naprawdę w kierunku SMR, czyli były produkowane w fabryce, niekiedy nawet w seriach liczących około 100 sztuk, a w miejscu użytkowania wyłącznie instalowane. Ponieważ wymogiem wojska było jak najdłuższe używanie reaktora, bez wymiany paliwa, reaktory te pracują na ogół na bardzo wysokowzbogaconym uranie, co nie jest dozwolone w sektorze cywilnym, ze względu na przepisy nieproliferacyjne. Obecnie produkuje się reaktory napędowe dla łodzi podwodnych, które bez wymiany paliwa pracują nawet 30 lat. Łącznie szacuje się, że liczba wyprodukowanych w ciągu ostatnich ponad 60 lat reaktorów napędowych przekroczyła 1000 sztuk (!).

Cywilnymi zastosowaniami oprócz reaktorów badawczych, były także reaktory napędowe stosowane na kilku statkach handlowych oraz na statkach specjalnych, jak na przykład flota rosyjskich lodołamaczy o napędzie atomowym (7 statków, 2-3 reaktory na statek). Sporadycznie używano też małych reaktorów do wytwarzania ciepła i energii elektrycznej na północy Rosji. Ostatnim przykładem takiego zastosowania są pływające elektrownie jądrowe, jak choćby Akademik Łomonosow, na którym zainstalowano 2 reaktory KLT-40S (SMR typu PWR) o łącznej mocy 300 MWt, mogące wytwarzać energię elektryczną o mocy 70MWe.

Kilkanaście lat temu wskutek szybko rosnących kosztów dużych jednostek energetycznych powstała pewnego rodzaju moda na rozwiązania SMR, mające na celu obniżenie jednostkowych kosztów inwestycyjnych. Ponieważ, jak wspomniałem, określenie jest dość nieprecyzyjne, ilość rozwiązań określanych tym skrótem jest też znacząca, szacuje się, że powstało około 50 różnych rozwiązań, określanych, jako SMR. Podstawową cechą tych reaktorów oprócz istotnie niższych kosztów inwestycyjnych jest kwestia bezpieczeństwa. Mniejsza

moc oznacza zdecydowanie mniejszą energię powyłączeniową, a więc łatwiejsze konwekcyjne wychłodzenie reaktora w przypadku awarii układu chłodzenia. Wszystkie projekty są tak tworzone, że uniemożliwiony jest najgroźniejszy stopień awarii reaktora, czyli stopień rdzenia. Oprócz małej mocy, większej prostoty konstrukcji, skrócenia czasu inwestycji i większego bezpieczeństwa reaktory SMR, o których się u nas mówi, mają jeszcze jedną cechę wspólną, otóż nie istnieją jeszcze w wersji komercyjnej w świecie zachodnim.

W ramach toczących się obecnie prac przygotowawczych, zwłaszcza w USA i Kanadzie, zaproponowano szereg różnych typów technologicznych reaktorów jądrowych typu SMR. Najbliższe celom wdrożenia komercyjnego są obecnie reaktory będące miniaturyzacją klasycznych reaktorów wodnych typu PWR. Projekty reaktorów tego typu są poddawane obecnie w USA i Kanadzie procesowi licencjonowania. Zaproponowany ostatnio w Polsce reaktor BWRX-300 jest reaktorem wodno-wrzącym (BWR) i jest to nieco unikatowe rozwiązanie pośród wodnych SMR. Często określa się pozostałe (nieużywające wody) reaktory, jako Advanced, wśród których najbardziej obiecującym typem są reaktory wysokotemperaturowe chłodzone gazem (HTGR, hel), których pierwsze wersje komercyjne budowane są obecnie w Chinach. Inne rozważane rozwiązania to reaktory chłodzone płynnym metalem (USA-Japonia) oraz reaktory, w których paliwo i chłodziwa są stopionymi solami (MSR).

Czy SMR może zastąpić LWR?

Autorzy projektów SMR sami stwierdzają, że ze względu na większe koszty na jednostkę mocy w porównaniu do dużych reaktorów i w związku z tym wyższe koszty wytwarzania energii ekonomicznie uzasadnione będzie stosowanie ich w lokalizacjach dalekich od sieci przesyłowych, zwłaszcza w północnych rejonach globu (stąd Kanada) oraz w przypadku słabo rozwiniętych sieci przesyłowych niezdolnych do wykorzystania dużych bloków energetycznych, jako lokalne źródła nie tylko energii elektrycznej, ale także ciepła dla przemysłu, do ogrzewania, czy odsalania wody morskiej. Oczywiście może to być znakomite rozwiązanie dla niewielkich krajów chcących zachować swoją suwerenność energetyczną, stąd ostatnio aktywność w tym obszarze Estonii. Można takie jednostki stosować także, jako wspomaganie do zasilania w szczytach energetycznych w dużych krajach rozwiniętych, ze względu na znacząco wyższe ceny energii w tym czasie.

Podsumowując, można powiedzieć, że mamy obecnie trzy dojrzałe technologie dużych reaktorów energetycznych dostarczanych przez firmy z siedmiu państw oraz dwa bliskie realizacji projekty SMR, jeden będący miniaturyzacją technologii PWR i jeden będący bardziej nowatorskim rozwiązaniem w technologii HTGR.

Wracając do tytułowego pytania po uwzględnieniu powyższych informacji odpowiedź na pytanie LWR, czy SMR dla Polski nie wydaje się trudna:

- Przede wszystkim mówimy tu o dwóch różnych rozwiązaniach. Duże reaktory mają zastosowanie przede wszystkim w wielkoskalowym wytwarzaniu energii elektrycznej, służąc, jako podstawa systemu energetycznego. Małe reaktory w wersji wodnej to przede wszystkim kogeneracja z zasilaniem sieci ciepłowniczych. Małe reaktory w wersji wysokotemperaturowej to także dodatkowo para technologiczna dla przemysłu i wytwarzanie wodoru.
- W obecnym projekcie PEP2040 potrzeby polskiego systemu energetycznego, mogącego zostać zaspokojone przez energetykę jądrową szacowane są 6-9 GWe. Oznacza to w zależności od wyboru reaktora energetycznego 6-9 bloków jądrowych albo przy wyborze SMR od kilkudziesięciu do kilkuset (!) reaktorów. Łączne koszty generacji opartej o SMR będą zdecydowanie wyższe.
- Mamy technologię dużych reaktorów energetycznych, która jest komercyjna i technologię SMR, która jeszcze nie jest (w świecie zachodnim) i minie jeszcze wiele lat zanim będzie. Krótko mówiąc, jeśli chcielibyśmy budować polską energetykę jądrową w oparciu o SMR, to możemy wszystko przerwać i rozpocząć ponownie, za co najmniej 10-15 lat, czyli pierwsza komercyjna elektrownia za 20-25 lat. Osiągnięcie założonej mocy energetyki jądrowej z PEP2040 będzie możliwe dopiero w PEP2060, a dla mnie to nigdy.
- O ile w procesie budowy dużych elektrowni jądrowych możemy liczyć nawet na znaczący udział polskiego przemysłu, także w części reaktorowej, to w przypadku SMR budowanych w jednej fabryce poza naszym krajem, udział polskiej gospodarki sprowadzi się do budowy budynku.

Uważam, że należy jak najszybciej przystąpić do realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej, zastawiając SMR-y tam, gdzie ich zastosowanie przyniesie realne korzyści.

Co dalej z SMR?

Reaktory SMR mają także w Polsce swoją rację bytu, mianowicie reaktory wodne typ PWR/BWR mogą być wykorzystane do produkcji ciepła miejskiego i w kogeneracji. Jednak na obecnym etapie nasz udział w ich rozwoju będzie się sprowadzał do zakupu pudełka z gotowym produktem.

Inaczej jest z technologią wysokotemperaturową HTGR, tutaj możemy jeszcze odegrać aktywną rolę w komercjalizacji tej technologii. Aktualnie trwają prace przygotowawcze do wdrożenia w Polsce technologii małych wysokotemperaturowych reaktorów chłodzonych gazem (hel) i na tym polscy zwolennicy małych reaktorów powinni się teraz skupić. Reaktory tego typu mogą znamicie być wykorzystane w kogeneracji, w wytwarza-

niu pary technologicznej dla przemysłu chemicznego i petrochemicznego, a docelowo w wysoce efektywnej i czystej produkcji paliwa przyszłości – wodoru.

Opinie dra Józefa Sobolewskiego wyrażone w tym artykule są jego prywatnym zdaniem i nie reprezentują stanowiska żadnej instytucji.

dr Józef Sobolewski,
Warszawa



Notka o autorze

Absolwent Wydziału Fizyki UW ze specjalizacją w zakresie fizyki jądrowej. Praca naukowa z zakresu rozszczepienia jądrowego z wykorzystaniem reaktora EWA w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku. Stypendysta Max-Planck-Society. Pracownik Max-Planck-Institute/Otto-Hahn-Institute w Moguncji (Niemcy). Doktor Nauk Fizycznych Uniwersytetu Jana Gutenberga w Moguncji, a następnie pracownik naukowy Uniwersytetu. Kilkunastoletnia praca naukowa w obszarze fizyki jądrowej. Ponad dwudziestoletnia praca w IT, w korporacjach amerykańskich Electronics Data Systems (EDS) i HP Enterprise Systems od inżyniera wdrożeniowca poprzez menadżera projektów do menadżera regionalnego biura sprzedaży w Europie. Specjalizacja w zakresie systemów informatycznych dla energetyki; w Polsce menadżer dużych projektów wdrożeniowych w PSE i PGNiG. Licencjat w zakresie sprzedaży w Global Sales Institute w Dallas (USA) oraz MBA w Warszawskiej Wyższej Szkole Biznesu. W latach 2016-2019 dyrektor Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Energii.

Powyższy tekst jest nieco zmodyfikowaną wersją artykułu, który ukazał się na portalu BiznesAlert 5 listopada 2019 r. Przedruk za zgodą autora.

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2019 ROKU

Research reactor MARIA operation in 2019

Ireneusz Owsianko

Streszczenie: Wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, wykorzystywany jest do produkcji radioizotopów oraz do prowadzenia badań z wykorzystaniem wiązek neutronów. W artykule skrótkowo opisano parametry techniczne reaktora oraz omówiono szczegółowo charakterystykę jego pracy w 2019 r.

Abstract: The MARIA high-flux research reactor operated at the National Centre for Nuclear Research at Swierk (Poland) is used for targets irradiation and to run physical experiments. The technical parameters of the reactor and characteristics of its operation in 2019 are given in detail.

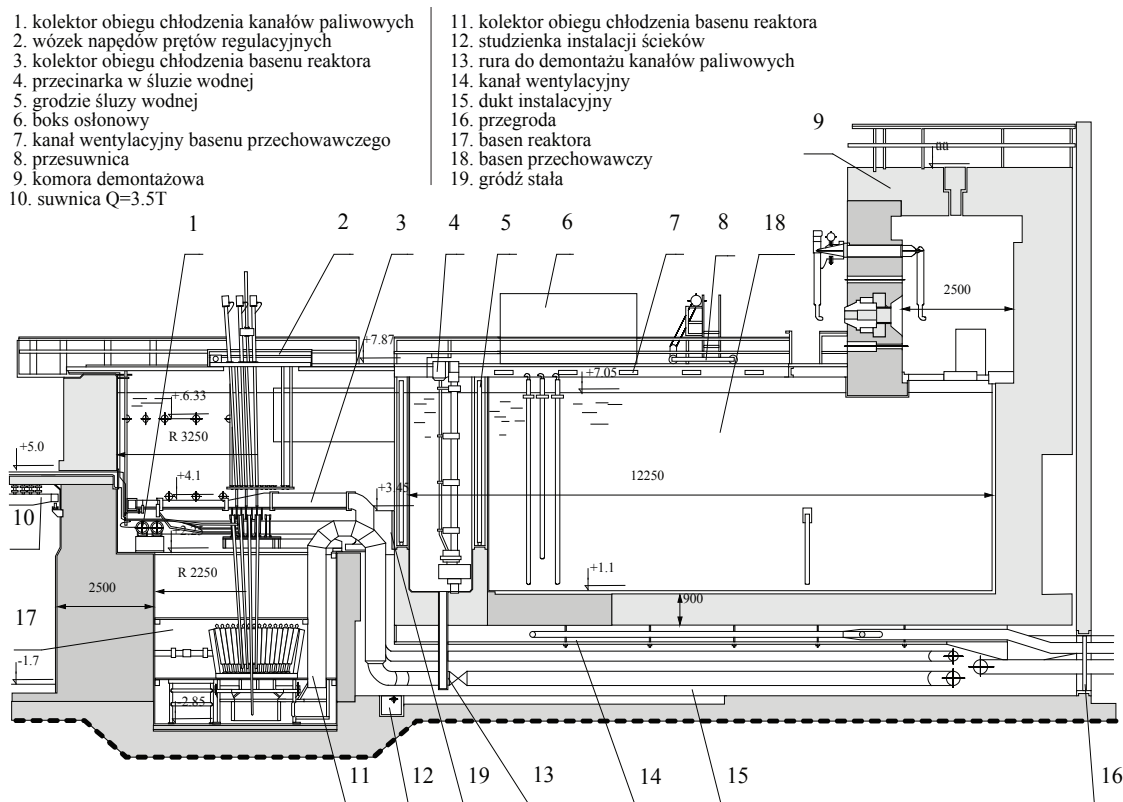
Słowa kluczowe: reaktor MARIA, Narodowe Centrum Badań Jądrowych, eksploatacja reaktora MARIA w 2019 r.

Keywords: MARIA reactor, National Centre for Nuclear Research, operation of MARIA REACTOR in 2019.

Wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku, wykorzystywany jest do produkcji izotopów promieniotwórczych dla potrzeb medycyny i przemysłu oraz do prowadzenia badań fizycznych. Jest to reaktor kanałowo-basenowy moderowany z paliwem umieszczonym w matrycy berylowej z reflektorem grafitowym i chłodzony zwykłą wodą. Nominalna moc cieplna reaktora wynosi 30 MW przy strumieniu neutronów termicznych równym $2 \cdot 10^{14}$ n/(cm²s). W 2019 r. wykorzystywane były dwa rodzaje elementów paliwowych: typu MC-5 i MR-6, o wzboğace-

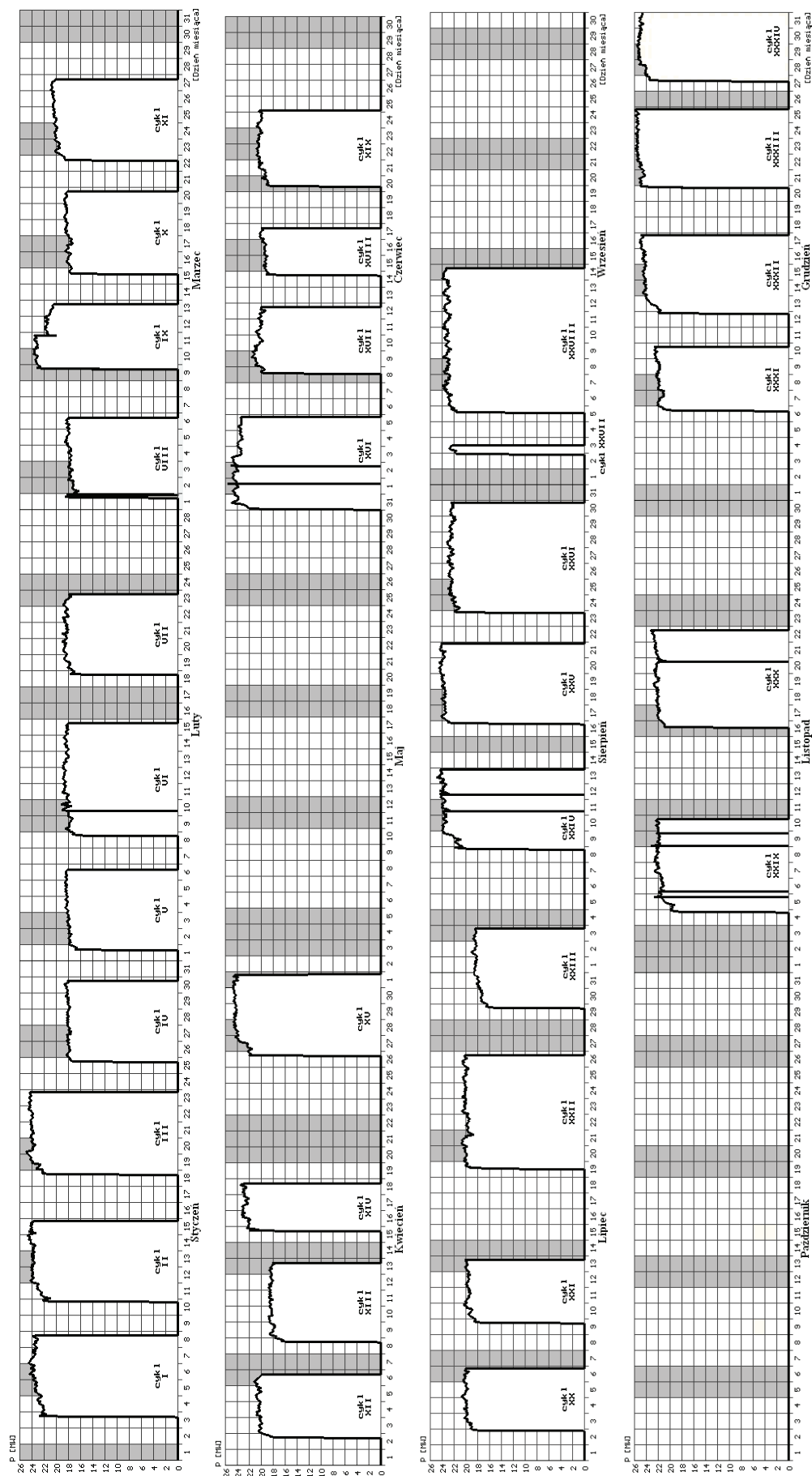
niu 19,75% oraz 19,7% w izotop U-235 (tzw. paliwo LEU) w kształcie 5 lub 6 koncentrycznych rur o długości 1000 mm koszulkowanych aluminium.

Na rys.1 przedstawiono przekrój pionowy dwóch basenów reaktora: reaktorowego, gdzie umieszczony jest rdzeń reaktora i przechowawczego (technologicznego), gdzie przechowywane jest wstępnie wypalone paliwo. W roku 2019 reaktor MARIA przepracował łącznie 4092 godzin na mocy cieplnej od 18 do 25 MW, co przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 2).



Rys. 1. Przekrój pionowy basenów reaktora MARIA
Fig. 1. Cross section of the MARIA reactor pools

Zestawienie pracy reaktora „MARIA” w 2019 roku

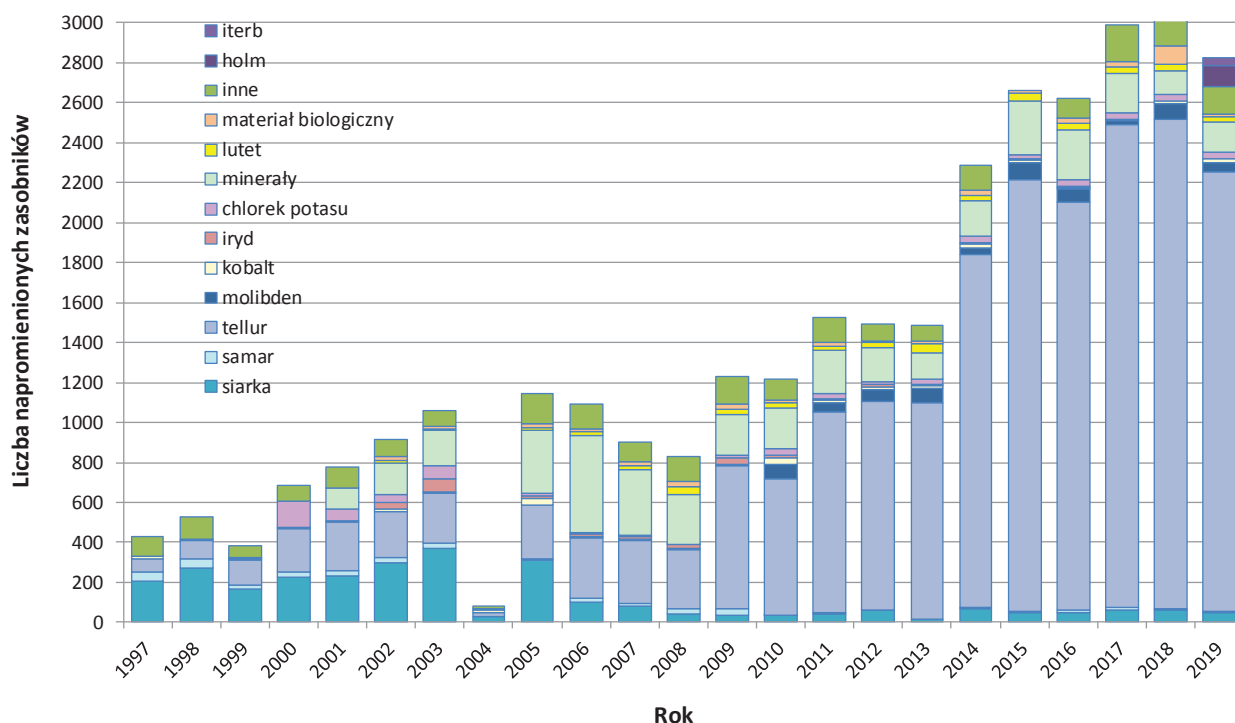


Opracowanie i wykonanie Andrzeja Frydrysiak - DOMEJ2

Rys. 2. Zestawienie pracy reaktora MARIA w 2019 r.
Fig. 2. MARIA reactor operation diagram in 2019

Eksploracja reaktora dostosowana była w szczególności do zapotrzebowania na napromienianie płytek uranowych do produkcji molibdenu (Mo-99) dla amerykańskiej firmy Curium (dawniej Mallinckrodt Pharma-

ceuticals) oraz do zapotrzebowania Ośrodka Radioizotopów POLATOM i Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej na napromienianie materiałów tarczowych.



Rys. 3. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA w 2019 r.

Fig. 3. List of irradiated targets in MARIA reactor in 2019

Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych jak: dwutlenek telluru (do produkcji J-131), siarka (do produkcji P-32), chlorek potasu (do produkcji S-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, iterb, lantan, miedź, kobalt, próbki materiałów alkalicznych, biologicznych i geologicznych. Całkowita aktywność napromienionych materiałów wyniosła około 1400 TBq oraz 4357 TBq dla molibdenu-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na załączonym zestawieniu (rys. 3). Ponadto w 2019 r. prowadzono napromienianie minerałów, w czterech specjalnych stanowiskach, co wymagało stosowania „nietypowej” konfiguracji rdzenia reaktora z ośmioma blokami wodnymi zawierającymi filtr, modelujący widmo neutronów (rys. 4).

W 2019 r. prowadzono intensywne komercyjne napromienianie płytek uranowych służących do produkcji molibdenu (Mo-99), który to izotop ulega przemianie w technet (Tc-99m), będący najbardziej powszechnym na świecie radiofarmaceutyką stosowaną w diagnostyce medycznej. Płytki uranowe napromieniano w 9 cyklach pracy reaktora, łącznie napromieniono 184 płytek niskowzbogaconych (o wzbogaceniu 19,75% w uran-235). Napromienianie płytek prowadzone jest w tzw. kanałach molibdenowych, których konstrukcja

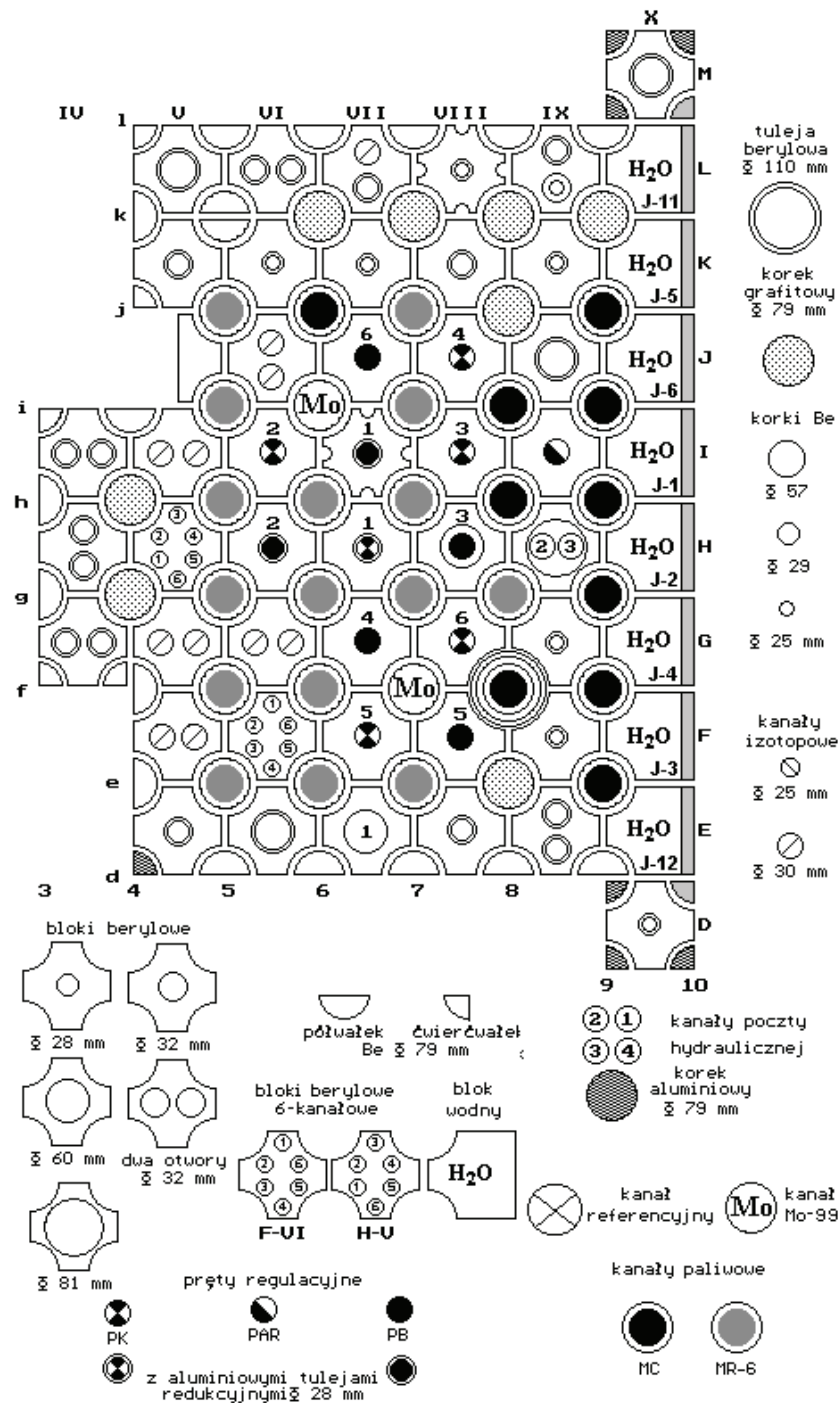
jest identyczna, jak kanałów paliwowych. Napromienianie realizowane jest w dwóch gniazdach i-6 i f-7 rdzenia reaktora (rys. 4), w czasie wydłużonych cykli pracy reaktora do 120 godz., na mocy około 25 MW.

W tym samym roku kontynuowane były prace, w ramach współpracy z amerykańską firmą NorthWest Medical Isotopes, których celem jest realizacja eksperymentu napromieniania i przetwarzania nowego typu tarcz uranowych, w postaci mikrosfer UO_2 . Prace te prowadzone są we współpracy z Zakładem Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP), który odpowiedzialny jest za proces przetwarzania napromienionych tarcz.

W drugim kwartale 2019 r. przeprowadzono trzecie testowe napromienianie trzech tarcz LEU o zawartości 2 g U-235 każda. Napromienione tarcze, po 24-godzinym schładzaniu przetransportowane zostały do ZUOP, gdzie przeprowadzono operacje radiochemiczne, których końcowym efektem było wyodrębnienie izotopu Mo-99 z produktów rozszczepienia.

Oba testowe napromieniania potwierdziły prawidłowość opracowanych technologii, których końcowym efektem było wyodrębnienie izotopu molibdenu-99 z produktów rozszczepienia.

W tym samym roku prowadzono również współpracę z holenderską firmą QUIREM, w ramach której napromieniono około 88 zestawów tarcz holmu w postaci



Rys. 4. Konfiguracja rdzenia reaktora MARIA w grudniu 2019 r.

Fig. 4. MARIA reactor core configuration in December 2019

mikrosfer (Ho-165-PLLA MS). Napromienione tarcze holmowe wykorzystywane są w selektywnej brachyterapii polegającej na podawaniu mikrosfer, zawierających izotop Ho-165 bezpośrednio do tętnicy wątrobowej.

Jeszcze inną współpracę kontynuowano z kanadyjską firmą BTG International Canada, w ramach przygotowania technologii napromieniania tarcz itrowych w postaci mikrosfer Y_2O_3 .

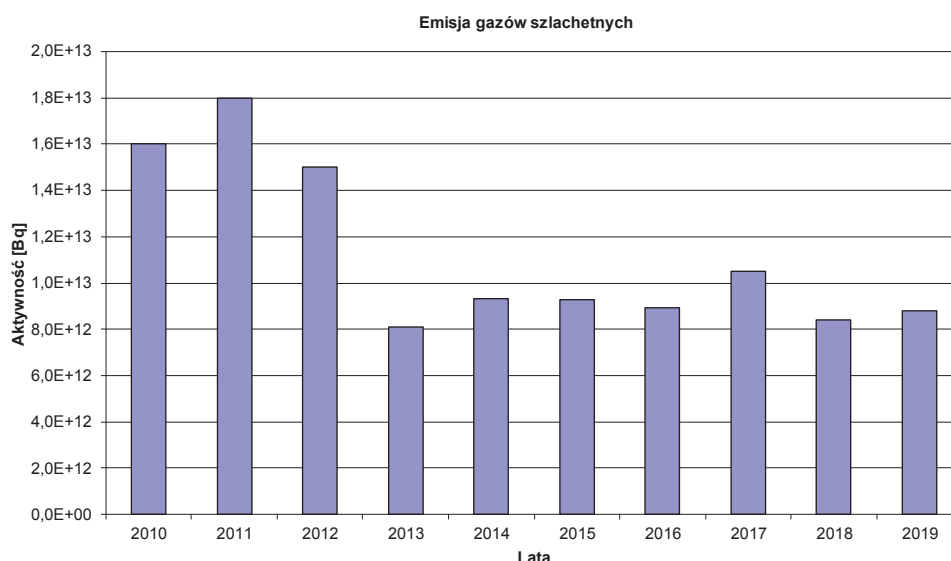
Można stwierdzić, że opisane wyżej technologie napromieniania zostały sprawdzone technologicznie i stanowią podstawę do przyszłych zastosowań w reaktorze MARIA.

W 2019 r. nie prowadzono badań na wiązkach neutronów wyprowadzanych z kanałów poziomych reaktora przez Środowiskowe Laboratorium Neutronografii. Kanały poziome zostały zamknięte w 2017 r., a w hali fizycznej reaktora przeprowadzona jest jej modernizacja, która umożliwi zainstalowanie, na wylocie kanałów poziomych reaktora, wysokiej klasy aparatury badawczej, pozyskanej z wyłączonego z eksploatacji reaktora, w niemieckim instytucie badawczym Helmholtz-Zentrum-Berlin (HZB) w Berlinie. Modernizacja dotyczy głównie wykonania nowej posadzki oraz takich układów technologicznych jak:

wentylacja, kontrola dozymetryczna, instalacja dostawy sprężonego powietrza itp.

W 2019 r. eksploatowane były ostatnie elementy paliwowe typu MC-5, wyprodukowane przez francuską firmę AREVA. Są to elementy 5-rurowe, niskowzbożone (LEU), zawierające 485 g uranu o wzbogaceniu 19,75% w izotop U-235. Materiałem rozszczepialnym jest krzemek uranu w dyspersji z aluminium (U_3Si_2-Al) koszulkowany aluminium i umieszczony w pięciu koncentrycznych rurach. Paliwo to jest bardzo dobrej jakości i dzięki temu, możliwe jest jego głębsze wypalanie, przewyższające 55%, co zdecydowanie podnosi efektywność ekonomiczną stosowania tego paliwa. W 2018 r. zapas tego paliwa się skończył i rozpoczęto eksploatację paliwa typu MR-6, produkcji rosyjskiej firmy TVEL. Jest to paliwo 6-rurowe, w którym materiałem paliwowym jest dyspersja UO_2 z aluminium, o wzbogaceniu 19,7% w izotop U-235 i zawartości uranu 485 g. Od 2018 do końca 2019 r. umieszczono w rdzeniu reaktora 18 elementów paliwowych typu MR-6.

Wypalone elementy paliwowe, po wyjęciu z rdzenia reaktora, schładzane są w basenie przechowawczym reaktora, gdzie poddawane są systematycznej kontroli uwolnień produktów rozszczepienia, do wody chłodzącej. W ramach tej kontroli (tzw. sipping test) wykonywane są pomiary poziomów aktywności produktów rozszczepienia uwalnianych z tych elementów do wody, w tym głównie Cs-137. Na podstawie spektrometrycznych pomiarów aktywności produktów rozszczepienia, oceniana jest szczelność wypalonych elementów paliwowych. Dotychczasowe pomiary wykazują dobry stan koszulek wypalonych elementów paliwowych, umieszczonych w basenie przechowawczym reaktora. Tylko w przypadku dwóch prototypowych elementów paliwowych MC001 i MC002 (produkcji firmy AREVA) oraz prototypowego elementu paliwowego MR 2212 (produkcji firmy TVEL) zaobserwowano wzrost uwolnienia Cs-137, co wskazuje na pogorszenie stanu koszulek tych elementów. Elementy te zamknięte są w kapsułach przechowawczych i systematycznie monitorowane.



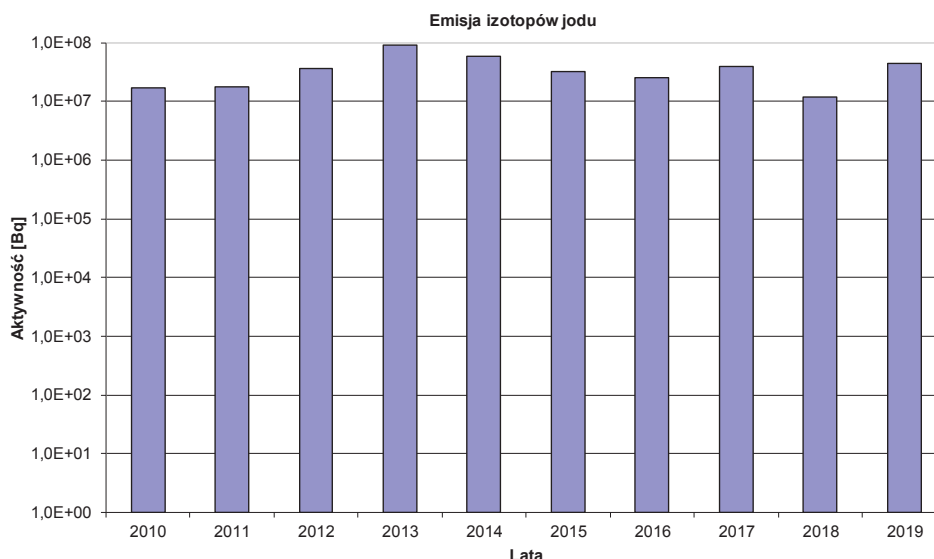
Rys. 5. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat
Fig. 5. Yearly noble gases emission from MARIA reactor during the last 10 years

W 2019 r. odnotowano 12 nieplanowanych wyłączeń reaktora. Jedenaście krótkotrwałych wyłączeń nie spowodowało konieczności skrócenia cyklu pracy reaktora. Jedno z wyłączeń w dniu 3 września 2019 r. związane było z podejrzeniem rozszczelnienia elementu paliwowego MR01116 powodującym gwałtowny wzrost wskazań w torach pomiarów dozymetrycznych 1GO, 2GO oraz w systemie WNEP (znacznie powyżej ustalonego limitu). Nastąpiło skrócenie cyklu pracy reaktora, który został wyłączony decyzją Kierownika Zmiany na podstawie szybkości narastania wskazań przyrządów pomiarowych. Późniejsze badania tego elementu paliwowego, wykazały wzrost uwolnień produktów rozszczepienia i potwierdziły prawidłowość podjętej decyzji o wyłączeniu reaktora.

Reaktor badawczy MARIA jest w sposób ciągły monitorowany pod względem uwolnień produktów radioaktywnych do środowiska. Poziomy uwolnień do atmosfery przedstawione na rys. 5 i 6 wynosiły:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41) – $8,8 \times 10^{12}$ Bq, co stanowiło 0,9% limitu uwolnień,
- emisja jodów – $4,5 \times 10^7$ Bq, co stanowiło 0,9% rocznego limitu uwolnień.

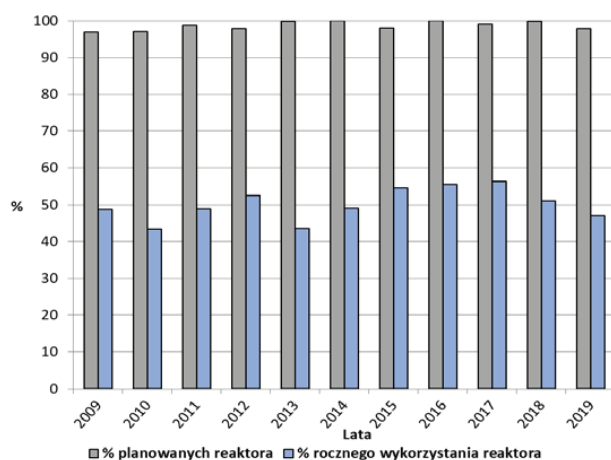
W 2019 r. 114 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach 0,1 do 1,09 mSv, a 9 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach 0,20 do 2,35 mSv, przy granicach dopuszczalnych wynoszących odpowiednio 20 i 500 mSv.



Rys. 6. Roczne uwolnienia jodów z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat
Fig. 6. Yearly iodines emission from MARIA reactor during the last 10 years

Na rys. 7 przedstawiono dwa parametry, mówiące o dyspozycyjności reaktora MARIA na przestrzeni ostatnich 10 lat:

- (1) stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin nieplanowanych wyłączeń w 2019 r. (A_1), który wynosił 97,9%,
- (2) stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2019 r. (A_2) wynoszący 47,1%.



Rys. 7. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA
Fig. 7. Yearly indicators of reactor MARIA operation

Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) i przy udziale finansowym MAEA, w 2017 r., przeprowadzono modernizację układu pomiarowego, mierzącego temperatury wyjściowe z indywidualnych kanałów paliwowych reaktora MARIA oraz układu pomiarowego mierzącego temperaturę globalną wejściową (sygnał 1T1). Celem tej modernizacji było umożliwienie włączenia sygnałów

pomiaru temperatur w kanałach paliwowych, w układ zabezpieczeń reaktora, dla poprawienia bezpieczeństwa jego eksploatacji.

W maju 2019 r. po przeprowadzeniu prób i testów system został włączony do układów zabezpieczeń reaktora. Docelowo, układ zapewnia zabezpieczenie od przekroczenia granicy dopuszczalnej różnicy temperatur wody chłodzącej między wlotem a wylotem w kanałach paliwowych, poprzez generację automatycznego sygnału wyłączenia reaktora (SCRAM), który pracuje w logice 2 z 3.

Z ważniejszych prac modernizacyjnych przeprowadzonych w 2019 r., można wyszczególnić rozpoczęcie procesu wymiany matrycy berylowej – w tym roku wymieniono 4 bloki berylowe w rdzeniu reaktora. Ponadto, w ramach prac modernizacyjnych wykonano modernizację instalacji oświetlenia awaryjnego i ewakuacyjnego w budynkach R2 reaktora MARIA, oraz w ramach odbudowy kanału poziomego H2 w basenie reaktora, zamontowano kanał pośredni.

W ramach upowszechniania wiedzy o atomistyce w 2019 r., reaktor MARIA zwiedziło około 5500 uczniów szkół średnich i studentów uczelni wyższych z terenu całej Polski oraz około 500 osób w czasie dni otwartych zorganizowanych w październiku tego roku. Dla niektórych grup studenckich organizowano również ćwiczenia praktyczne z zakresu fizyki reaktorowej i ochrony przed promieniowaniem jonizującym.

Podsumowując, należy stwierdzić, że praca reaktora w 2019 r. przebiegała bez większych zakłóceń, potwierdzając jego dobrą dyspozycyjność oraz spełnianie warunków bezpiecznej eksploatacji.

mgr inż. Ireneusz Owsianko,
 Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
 Świerk

ROSJA POZA GRANICAMI...

Russia beyond the borders...

Piotr Leśny

Streszczenie: Opracowanie przedstawia zaangażowanie Federacji Rosyjskiej w zagraniczne projekty jądrowe. Rosja jest w tej chwili największym eksporterem technologii jądrowych na świecie. Kluczowym rosyjskim graczem w tej dziedzinie jest korporacja ROSATOM. Artykuł przybliża zagadnienie rosyjskiej dominacji w dziedzinie eksportu technologii jądrowych z punktu widzenia dozoru jądrowego i zarządzania korporacją.

Abstract: The study presents the involvement of the Russian Federation in foreign nuclear projects. Russia is currently the largest exporter of nuclear technologies in the world. The key Russian player in this field is the ROSATOM corporation. The article introduces the issue of Russian domination in the field of nuclear technology exports from the point of view of nuclear regulatory body and ... corporate management.

Słowa kluczowe: Rosja, ROSATOM, energetyka jądrowa, eksport technologii jądrowych, nowe inwestycje, umowy międzynarodowe, dominacja na rynku, systemy zarządzania.

Keywords: Corporate management, Russia, ROSATOM, nuclear energy, nuclear technology exports, new investments, international agreements, market dominance, management systems.

Rosyjskie zaangażowanie działa na wielu poziomach: od eksperckiego – rosyjscy specjaliści od „atomu” są cenieni na całym świecie, po finansowy – inwestycje w budowę nowych elektrowni jądrowych.

Rosjanie biorą udział również w wielu spotkaniach międzynarodowych. Rosyjska aktywność w dziedzinie energetyki jądrowej jest wielostronna i ogromna. Pełen opis w artykule jest praktycznie niemożliwy. Zagadnienia rosyjskie towarzyszą specjalistom od energetyki jądrowej bowiem dosłownie wszędzie: od Austrii po Australię. Omówione zostaną więc te aspekty rosyjskiego zaangażowania w energetykę jądrową na arenie międzynarodowej, które były omawiane rzadko lub wcale.

W związku z tym, że autor artykułu nie jest specjalistą od polityki międzynarodowej, czy energetycznej w opracowaniu przybliżony został rosyjski program jądrowy z punktu widzenia inspektora dozoru jądrowego, uwzględniając „specjalizacje” między innymi zintegrowane systemy zarządzania, czy zapewnienie jakości. Podejście do tematu w opracowaniu będzie (trochę w związku z moim ukształtowanym na koreański sposób myślenia) spojrzeniem techniczno-biznesowym. Rosyjska międzynarodowa aktywność w dziedzinie energetyki jądrowej będzie tak jakby dotyczyła działań korporacji – bo de facto definiuje ją jedno słowo „ROSATOM”.

W dniach 7-11 października 2019 r. odbyło się w Obnińsku pod Moskwą międzynarodowe szkolenie zorganizowane przez Akademię Techniczną Rosatomu wraz z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej. Szkolenie dotyczyło inspekcji systemów ochrony fizycznej w obiektach jądrowych. W szkoleniu uczestniczyli przedstawiciele dozorów jądrowych z całego świata od

Brazylii po Tajlandię. Wykłady teoretyczne prowadzili międzynarodowi eksperci, a praktyczną stronę zagadnienia przybliżali rosyjscy instruktorzy. Kursanci uczyli się na prawdziwych, najnowszych systemach alarmowych i monitoringu jak prawidłowo kontrolować działania systemów ochrony elektronicznej, jak weryfikować działania służb ochrony obiektów i sprawdzać ich zaplanowanie. Szkolenia dotyczyły zarówno kontroli ludzi, jak i środków transportu.

Z rosyjskimi kwestiami jądrowymi zapoznałem się więc od trochę... nietypowej strony. Jednakże jeżeli chodzi o energetykę jądrową, tamtejsze programy jądrowe najlepiej określa rosyjskie słowo sputnik: towarzyszyć podróży.

Autor artykułu nie miał okazji poznać bezpośrednio znajdujących się na terenie Federacji Rosyjskiej elektrowni jądrowych – tak więc opracowanie to nie zawiera tych kwestii, które bardziej kompetentni autorzy już omówili. Jako inżynier – praktyk nie lubię też wypowiadać się o czymś, czego osobiście nie można „dotknąć”. Natomiast z rosyjskimi projektami reaktorów autor miał dość często do czynienia: odbył praktykę inspektora dozoru jądrowego (rezydentura zarówno na budowie EJ, jak i podczas eksploatacji) w Mochowcach na Słowacji, kolejno bloki: nr 1 i nr 2 – eksploatacja, nr 3 i nr 4 budowa (wszystkie to rosyjskie reaktory WWER-440). Miałem również okazję zapoznać się z najnowszym rosyjskim rektorem WWER-1200 w Ostrowcu na Białorusi. Rosyjscy specjaliści uczą wykonywania pracy inspektora tak w Austrii (Wiedeń), jak i w... Południowej Korei (nie tylko oni oczywiście – również Amerykanie, Kandydzy, Francuzi, Chińczycy no i przede wszystkim Koreańczycy).

1. Ogólne podstawy

Na początek przedstawiony zostanie bardzo zwięzłe rosyjski potencjał w dziedzinie energetyki jądrowej. Czyli co w kilku słowach w tej dziedzinie znajduje się na terenie Federacji Rosyjskiej.

W tej chwili na terenie Federacji Rosyjskiej zgodnie z IAEA PRIS budowane są 4 bloki jądrowe, a w eksploatacji znajduje się 38, natomiast wyłączonych bloków jest 8. Całkowita produkcja energii elektrycznej (włączając jądrową) wynosi 1070922,40 GWh. Produkcja elektryczności w elektrowniach jądrowych wynosi 191331,49 GWh.



Fot. 1. Budowa elektrowni w Noworoneżu. Tibor Széplaki & József Poó Paks II. Ltd Hungary Shanghai, China, 28-31 sierpień 2018.
Photo 1. Construction of the power plant in Noworoneż

Tabela 1. Rosyjskie elektrownie atomowe według IAEA PRIS
Table 1. Russian nuclear power plants according to IAEA PRIS

Reactors Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Conection
AKADEMIK LOMONOSOV-1	PWR	Operational	PEVEK	32	35	2019-12-19
AKADEMIK LOMONOSOV-2	PWR	Operational	PEVEK	32	35	2019-12-19
APS-1 OBNINSK	LWGR	Permanent Shutdown	OBNINSK	5	6	1954-06-27
BALAKOVO-1	PWR	Operational	BALAKOVO	950	1000	1985-12-28
BALAKOVO-2	PWR	Operational	BALAKOVO	950	1000	1987-10-08
BALAKOVO-3	PWR	Operational	BALAKOVO	950	1000	1988-12-25
BALAKOVO-4	PWR	Operational	BALAKOVO	950	1000	1993-04-11
BALTIC-1	PWR	Under Construction	NEMAN	1109	1194	
BELOYARSK-1	LWGR	Permanent Shutdown	ZARECHNYY	102	108	1964-04-26
BELOYARSK-2	LWGR	Permanent Shutdown	ZARECHNYY	146	160	1967-12-29
BELOYARSK-3	FBR	Operational	ZARECHNYY	560	600	1980-04-08
BELOYARSK-4	FBR	Operational	ZARECHNYY	820	885	2015-12-10
BILIBINO-1	LWGR	Permanent Shutdown	BILIBINO	11	12	1974-01-12
BILIBINO-2	LWGR	Operational	BILIBINO	11	12	1974-12-30
BILIBINO-3	LWGR	Operational	BILIBINO	11	12	1975-12-22
BILIBINO-4	LWGR	Operational	BILIBINO	11	12	1976-12-27
KALININ-1	PWR	Operational	UDOMLYA	950	1000	1984-05-09
KALININ-2	PWR	Operational	UDOMLYA	950	1000	1986-12-03
KALININ-3	PWR	Operational	UDOMLYA	950	1000	2004-12-16
KALININ-4	PWR	Operational	UDOMLYA	950	1000	2011-11-24
KOLA-1	PWR	Operational	POLYARNYYE ZORI	411	440	1973-06-29
KOLA-2	PWR	Operational	POLYARNYYE ZORI	411	440	1974-12-09
KOLA-3	PWR	Operational	POLYARNYYE ZORI	411	440	1981-03-24
KOLA-4	PWR	Operational	POLYARNYYE ZORI	411	440	1984-10-11
KURSK 2-1	PWR	Under Construction	KURCHATOV	1115	1255	
KURSK 2-2	PWR	Under Construction	KURCHATOV	1115	1255	
KURSK-1	LWGR	Operational	KURCHATOV	925	1000	1976-12-19
KURSK-2	LWGR	Operational	KURCHATOV	925	1000	1979-01-28
KURSK-3	LWGR	Operational	KURCHATOV	925	1000	1983-10-17

Reactors Name	Type	Status	Location	Reference Unit Power	Gross Electrical Capacity [MW]	First Grid Connection
KURSK-4	LWGR	Operational	KURCHATOV	925	1000	1985-12-02
LENINGRAD 2-1	PWR	Operational	SOSNOVYY BOR	1085	1188	2018-03-09
LENINGRAD 2-2	PWR	Under Construction	SOSNOVYY BOR	1085	1150	
LENINGRAD-1	LWGR	Permanent Shutdown	SOSNOVYY BOR	925	1000	1973-12-21
LENINGRAD-1	LWGR	Permanent Shutdown	SOSNOVYY BOR	925	1000	1973-12-21
LENINGRAD-2	LWGR	Operational	SOSNOVYY BOR	925	1000	1975-07-11
LENINGRAD-3	LWGR	Operational	SOSNOVYY BOR	925	1000	1979-12-07
LENINGRAD-4	LWGR	Operational	SOSNOVYY BOR	925	1000	1981-02-09
NOVOVORONEZH 2-1	PWR	Operational	NOVOVORONEZH	1114	1180	2016-08-05
NOVOVORONEZH 2-2	PWR	Operational	NOVOVORONEZH	1114	1181	2019-05-01
NOVOVORONEZH-1	PWR	Permanent Shutdown	NOVOVORONEZH	197	210	1964-09-30
NOVOVORONEZH-2	PWR	Permanent Shutdown	NOVOVORONEZH	336	365	1969-12-27
NOVOVORONEZH-3	PWR	Permanent Shutdown	NOVOVORONEZH	385	417	1971-12-27
NOVOVORONEZH-4	PWR	Operational	NOVOVORONEZH	385	417	1972-12-28
NOVOVORONEZH-5	PWR	Operational	NOVOVORONEZH	950	1000	1980-05-31
ROSTOV-1	PWR	Operational	VOLGODONSK	950	1000	2001-03-30
ROSTOV-2	PWR	Operational	VOLGODONSK	950	1000	2010-03-18
ROSTOV-3	PWR	Operational	VOLGODONSK	950	1000	2014-12-27
ROSTOV-4	PWR	Operational	VOLGODONSK	950	1030	2018-02-02
SMOLENSK-1	LWGR	Operational	DESNOGORSK	925	1000	1982-12-09
SMOLENSK-2	LWGR	Operational	DESNOGORSK	925	1000	1985-05-31
SMOLENSK-3	LWGR	Operational	DESNOGORSK	925	1000	1990-01-17

Rosyjski kompleks energetyki jądrowej stanowią nie tylko elektrownie, ale i zakłady produkujące paliwo, zakłady przetwarzania wypalonego paliwa, kopalnie uranu, wyższe uczelnie kształcące kadry, instytuty badawcze, łodołamacze itd. Potęgę rosyjskiej energetyki jądrowej tworzy przede wszystkim ROSATOM (zwłaszcza za granicą).

2. ROSATOM

ROSATOM - rosyjska państwowa korporacja odpowiedzialna za pokojowe wykorzystanie energetyki jądrowej (posiada też część odpowiedzialną za broń nuklearną, ale są to przedsiębiorstwa cywilne nie wojskowe) jest gigantem – w tej chwili to jedna z największych korporacji nie tylko w Rosji, ale i na świecie. Według ostatniego (na dzień 27.02.2020) rocznego raportu ROSATOM-u: w 2018 r. ROSATOM i jego przedsiębiorstwa zatrudniały 255 400 osób (w tym 1 800 osób w przedsiębiorstwach zagranicznych), przy czym kobiety i mężczyźni stanowili odpowiednio 34% i 66% ogólnej liczby pracowników.

Liczba pracowników według poszczególnych kategorii wynosiła:

- kierownictwo: 31 720;
- specjaliści: 102 690;

- pracownicy umysłowi: 10 370;
- pracownicy fizyczni: 110 590.

Z czego 137 100 pracowników (53,7% ogółu zatrudnionych) miało uniwersyteckie wykształcenie. 3 353 pracowników (1,3% ogółu zatrudnionych) to kandydaci nauk (rosyjski stopień naukowy) oraz doktorzy. Wiek pracowników wynosił średnio 43,4 lata (46,5 lat dla kadry kierowniczej), a 31,4% pracowników było w wieku poniżej 35 lat. W 2018 r. wskaźnik rotacji personelu wyniósł 12,7%. Średnia miesięczna płaca wynosiła 79 000 rubli (ponad 4700 złotych). Nic dziwnego, że ROSATOM jest uznawany za jednego z najlepszych pracodawców w Rosji. W skład rosyjskiego giganta wchodzi 335 organizacji. W dziedzinie budowy bloków jądrowych ROSATOM zajmuje pierwsze miejsce w świecie – 36 projektów bloków energetycznych według samego ROSATOM-u. Podobnie jest, jeżeli chodzi o wzbogacanie uranu – Rosjanie opowiadali 36% rynku światowego. Gorzej jest tylko w produkcji paliwa jądrowego – tu ROSATOM zajmuje trzecie miejsce w świecie. (Nota bene: w 2018 r. wartość portfolio zamówień na okres dziesięciu lat wynosiło 133,2 mld dolarów – całkiem niezły rezultat jak na organizację non-profit). W dziedzinie budowy elektrowni jądrowych można mówić o rosyjskiej globalnej dominacji.

Uwaga ! Czasami w literaturze można spotkać inne nazwy rosyjskich przedsiębiorstw branży energetyki jądrowej. W dalszej części użyto określenia ROSATOM, ponieważ wszystkie stanowią jego część.

3. Rosyjskie zagraniczne inwestycje jądrowe

ROSATOM i ogólnie energetyka jądrowa w Rosji ma długą i skomplikowaną historię. Każda statystyka może więc sprawiać problemy. Jako cezurę można najlepiej przyjąć powstanie Federacji Rosyjskiej. Dane podaję za World Nuclear Association. Na ten moment pracuje więc 9 bloków energetycznych zbudowanych przez Rosjan za granicą już po rozpadzie Związku Radzieckiego.

Tabela 2. Bloki energetyczne aktualnie w eksploatacji
Table 2. Power blocks currently in operation

Kraj	Elektrownia	Typ
Ukraina	Chmielnicki 2 i Rowno 4	WWER-1000/ V-320
Iran	Bushar 1	WWER-1000/V446
Chiny	Tianwan 1,2,3 i 4	AES- 91
Indie	Kudankulum 1 i 2	AES-92

Budowanych jest następujących siedem:

Tabela 3. Bloki energetyczne w budowie
Table 3. Power blocks under construction

Kraj	Elektrownia	Typ
Białoruś	Ostrowiec 1 i 2	AES-2006 / V-491
Indie	Kudankulum 3 i 4	AES-92
Bangladesz	Roopur 1 i 2	AES-2006(V-392M)
Turcja	Akkuyu 1	WWER-1200 (V-509)

Zakontraktowano 11 nowych bloków (różny status od podpisania umowy po potwierdzenie terminu rozpoczęcia budowy):

Tabela 4. Bloki energetyczne zakontraktowane
Table 4. Contracted power units

Kraj	Elektrownia	Typ
Chiny	Tianwan 7 i 8, Xudabao3 i 4	AES-2006
Turcja	Akkuyu 2 i 4	WWER-1200 (V-509)
Finlandia	Hanhikivi 1	AES- 2006(V-491)
Iran	Bushehr 2 i 3	AES-92 (V-466B)
Armenia	Metsamor 3	AES-92

Zamówiono kolejnych 11.

Tabela 5. Bloki energetyczne zamówione (różny stopień zaawansowania umowy)

Table 5. Power units ordered (various levels of contract completion)

Kraj	Elektrownia	Typ
Egipt	El Dabaa	AES-2006
Indie	Kudankulum 5 i 6	AES-92
Węgry	Paks 5 i 6	AES- 2006
Słowacja	Bohunice V 3	AES-2006
Uzbekistan	Jezioro Tudakul	AES-2006 (V-392M)

Do tego dochodzi około 30 projektów budowy w różnym stanie negocjacji. Rosjanie prowadzą rozmowy z: Bułgarią, Indiami, Ukrainą, Republiką Południowej Afryki, Nigerią, Argentyną, Indonezją, Algierią, Jordanią, Wietnamem i Uzbekistanem. Łącznie około 60 przedsięwzięć prowadzonych przez Rosję na całym świecie związanych jest z energetyką jądrową.

W tej statystyce nie zostały uwzględnione te inwestycje, w których firmy rosyjskie partycypują tylko w jakiejś części. Jak to bowiem liczyć ? Budowa elektrowni jądrowej stanowi skomplikowane zagadnienie i bywa międzynarodowym przedsięwzięciem. Przykładowa struktura takiej inwestycji to: przyszły operator, który nadzoruje głównych wykonawców (np. Południowa Korea i Słowacja – 5) i około 200 podwykonawców. Nie liczymy oczywiście firm pośrednio zaangażowanych. Rosyjskie przedsiębiorstwa uczestniczą więc również w tych inwestycjach, w których nie musi uczestniczyć ich państwo. (Nie mówiąc już o tym, że udziały w firmach mają różne podmioty – więc rosyjscy udziałowcy mogą mieć udziały także w przedsiębiorstwach z innych państw). Największe oszacowanie, jakie usłyszałem od koreańskiego specjalisty to 70-80 najróżniejszych przedsięwzięć na całym świecie, które prowadzą Rosjanie. W samej Słowacji JSC Atomstroyexport spółka ROSATOM-u uczestniczyła w pracach modernizacyjnych w Bohunicach (bloki 3 i 4) i w budowie nowych bloków w Mochowcach (3 i 4) – konstrukcja wyspy jądrowej. Tu jest miejsce na małą dygresję: jak ważne w branży energetyki jądrowej jest doświadczenie i odpowiednie zarządzanie. Zarząd ROSATOM-u jednocześnie zaangażowany jest w realizację od 60 do 80 dużych projektów na całym świecie (nie licząc wewnętrznego rosyjskiego rynku: od elektrowni jądrowych po łodołamacze) – początkujące w energetyce jądrowej kraje mają problemy nawet z jednym projektem. Niemożliwe jest w krótkim artykule przedstawić wszystkie rosyjskie zagraniczne projekty, dlatego pokrótce omówione zostaną tylko przykładowe rosyjskie inwestycje.

a. Białoruś - Ostrowiec elektrownia jądrowa w budowie. Belarus - Ostrowiec nuclear power plant under construction



Fot. 2. Białoruska Elektrownia Jądrowa podczas budowy (fot. ze strony BelarusFeed, TUT BY)

Photo 2. Belorussian Nuclear Power Plant during construction. (Photo BelarusFeed site, TUT BY)



Fot. 3. Białoruska Elektrownia Jądrowa (fot. z oficjalnej strony Białoruskiej Elektrowni Jądrowej)

Photo 3. Belarusian Nuclear Power Plant (photo from the official website of the Belarusian Nuclear Power Plant)

Białoruska Elektrownia Jądrowa (biał. Беларуская атамная электрастанцыя), bo taka jest jej oficjalna nazwa – budowana jest w odległości prawie 20 km od Ostrowca, miasta położonego w obwodzie grodzieńskim. Białoruska elektrownia jądrowa zbudowana jest w rosyjskim standardzie generacji III+ (Rosjanie twierdzą, że jest to już ta generacja, ponieważ wcześniej była generacją trzecią) według projektu AES-2006 z dwoma reaktorami wodnymi ciśnieniowymi V-491 – Belarusian 1 i 2. AES – 2006 to skrócona nazwa ewolucyjnej elektrowni jądrowej WWER-1200, czyli modelu, który został opracowany na podstawie standardowego rosyjskiego projektu WWER-1000.

Zmieniono w stosunku do poprzedniej wersji następujące parametry:

- Zwiększono moc cieplną do 3200 MW;
- Zwiększono jednostkową moc elektryczną do 1197 MW;
- Zwiększono współczynnik efektywności jednostki do 37% (brutto);
- Poprawiono parametry pary przy wyjściu z wytwarzania pary do 7,0 MPa;
- Poprawiono charakterystyki bezpieczeństwa (dodano między innymi pasywne systemy bezpieczeństwa).

WWER-1200 (lub NPP-2006 lub wersja AES-2006) to najnowsza ewolucja WWER-1000 oferowana przez Rosjan do użytku krajowego i na eksport. Konstrukcja reaktora została udoskonalona, aby zoptymalizować zużycie paliwa. Planowany czas budowy wynoszący 54 miesiące i przewidywany czas życia 60 lat przy współczynniku wykorzystania mocy 90%. WWER-1200 ma sprawność cieplną brutto i netto 37,5% i 34,8%. WWER-1200 generuje 1 198 MWe mocy. Zaplanowano więcej reaktorów z WWER-1200/491, np. Leningrad-2-Projekt (elektrownia jądrowa Kaliningrad i Niżny Nowogród). Typ WWER-1200/392M zainstalowany w elektrowni jądrowej Nowoworoneż został również wybrany dla elektrowni jądrowej Siewiersk. W sierpniu 2016 r. pierwszy WWER-1200, Nowoworoneż 2-1, został podłączony do sieci i rozpoczął działalność komercyjną 27 lutego 2017 r. (model V-392M).



Fot. 4. WWER-1200 przekrój (widać między innymi systemy spryskiwaczy, pasywnego usuwania ciepła i chwytacz rdzenia; zdjęcie ROSATOM)

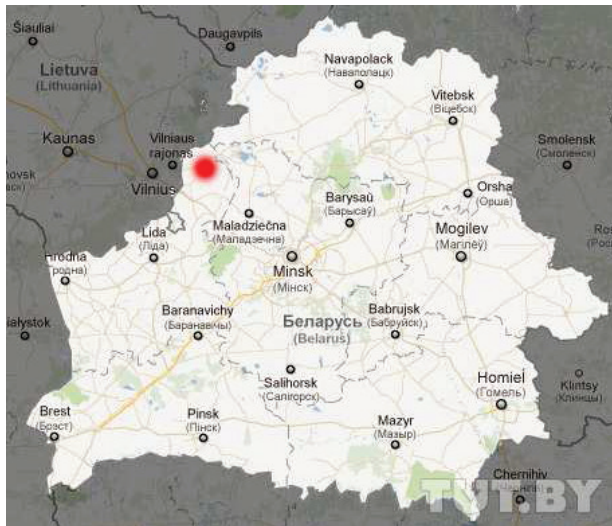
Photo 4. WWER-1200 cross-section (you can see, among others, washer systems, passive heat removal and core catcher; photo ROSATOM)

Reasumując: na Białorusi w Ostrowcu budowany jest model WWER-491 reaktora typu WWER-1200 według projektu AES 2006. W tłumaczeniu na język niemiecki-

ny WWER-1200 to cała rodzina różnych modeli reaktora w ten czy inny sposób zmodyfikowanych (trochę tak jak różne wersje danego samochodu, oferowane w salonie

różnią się wyposażeniem i ceną. W dużym uproszczeniu oczywiście). Pierwszy blok miał być gotowy do pracy w grudniu 2019 r. – w tej chwili (koniec lutego) trwają przygotowania do rozruchu, a drugi powinien zostać uruchomiony w 2020 r. Rządy Białorusi i Rosji prowadzą rozmowy dotyczące kwestii finansowych.

Przeprowadzono stress – testy, w których białoruska elektrownia jądrowa miała udowodnić swoją odporność na ekstremalne zagrożenia pogodowe lub inne, które mogą hipotetycznie wystąpić na Białorusi (trzęsienia ziemi i powodzie, silne wiatry i ulewne deszcze, szkwały, tornado, grad, burze piaskowe, silne zamiecie, akumulację lodu, mgłę, susze i inne zjawiska pogodowe).



Fot. 5. Elektrownia jądrowa na Białorusi lokalizacja (fot. ze strony BelarusFeed, TUT.BY)

Photo 5. Belarus Nuclear Power Plant location (photo website BelarusFeed, TUT.BY)

Ostrowiec (biał. Астраве́ц, ros. Остро́вец) – miasto i centrum administracyjne rejonu w obwodzie grodzieńskim Białorusi. Liczy prawie 11000 mieszkańców. Położony jest nad rzeką Łoszą, 250 km na północny wschód od Grodna, 4 km od stacji kolejowej Hudahaj na linii Mołodeczno – Wilno (oddalone niepełna 20 km od granicy z Litwą). Obwód grodzieński położony jest w północno-zachodniej części Białorusi. Powierzchnia wynosi 25 tys. km². Na północnym wschodzie graniczy z obwodem witebskim, na wschodzie z obwodem mińskim, a na południu z obwodem brzeskim. Na zachodzie graniczy z Polską (województwo podlaskie), a na północy z Litwą (okręg wileński). Terytorium jest przede wszystkim równinne, a jego wysokość wynosi około 120–180 m. Obwód leży w obrębie Niziny Niemeńskiej, Niziny Naroczańsko-Wileńskiej i Równiny Lidzkiej (do 170 metrów). Najniższy punkt znajduje się na północno-zachodniej części obwodu w miejscu, w którym Niemien wpływa na terytorium Litwy – wynosi 80 m n.p.m. Najwyższym punktem obwodu jest Góra Zamkowa (323 m) znajdująca się na obszarze Wyżyny Nowogródzkiej. Praktycznie całe terytorium obwodu należy do basenu

Niemna i jego dopływów: Gawii, Dzitwy, Uszy, Szczary i Łosośnej. Na północnym zachodzie zaczyna swój bieg rzeka Narew – dopływ Wisły. Na terytorium obwodu znajduje się też Kanał Augustowski, łączący Wisłę i Niemien. Występują również jeziora: Jezioro Białe, Rybnica, Świtez, Świr.

b. Węgry – PAKS 5 i 6 Elektrownia Jądrowa zamówiona i inne

Hungary – PAKS 5 and 6 Nuclear Power Plant ordered

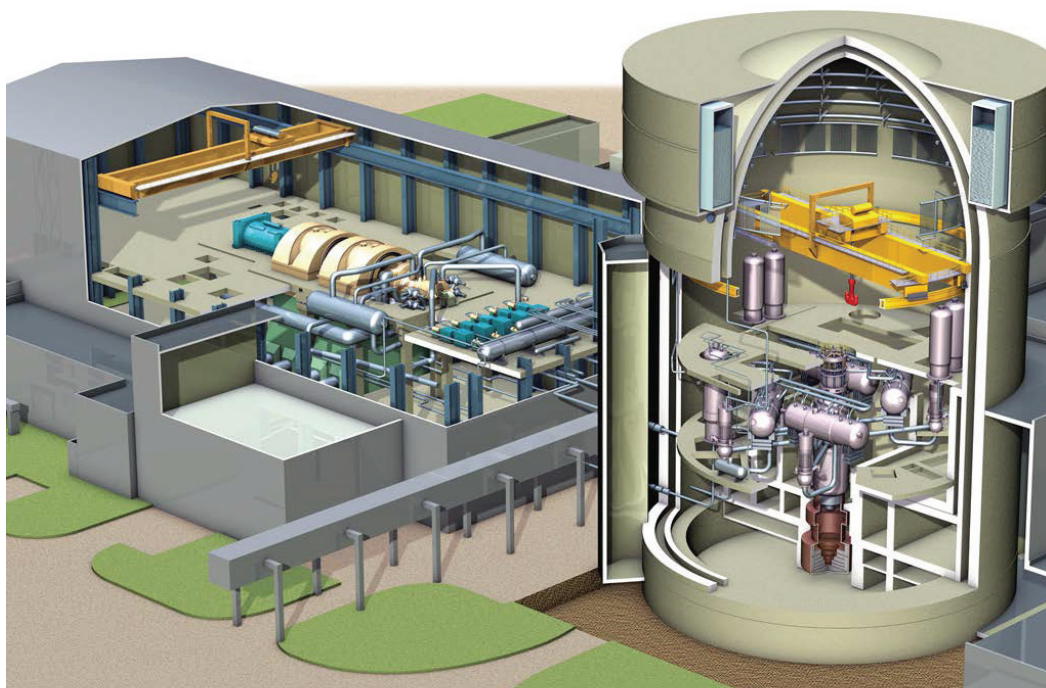
Węgry stanowią część dużego rynku, jaki w tej chwili stanowi dla energetyki jądrowej Europa Środkowa. W tej chwili, w tej części Europy pojawiło się zielone światło w dziedzinie energetyki jądrowej. Już w 2017 r. Czechy ogłosiły, że w Dukovanach i Temelinie będą budowane nowe reaktory. Kończona jest budowa bloków nr 3 i 4 w EJ Mochowce na Słowacji (rozpoczęta w 1987 roku). Rumunia rozbudowuje i unowocześnia Cernawodę (tu trwa współpraca z innym krajem eksporterem technologii jądrowych Chinami). Słowenia wspólnie z Chorwacją podjęła decyzję o przedłużeniu działania EJ Krsko do połowy wieku. Swoją program jądrowy ma również Polska. Bardzo ciekawie układa się to na mapie sporządzonej przez Węgrów.



Fot. 6. Europa Środkowa - kraje zaangażowane aktualnie w energetykę jądrową mapa z prezentacji Tibor Széplaki & József Poó Paks II. Ltd Hungary Shanghai, China, 28-31 sierpień 2018

Photo 6. Central Europe - countries currently involved in nuclear energy map from the presentation of Tibor Széplaki & József Poó Paks II. Ltd Hungary Shanghai, China, 28-31 August 2018

Z punktu widzenia korporacji wszystkie te kraje tworzą jedną całość i stanowią wielki połączony rynek. Szczególnie ściśle więzy łączą Czechy, Węgry, Słowenię i Słowację. Przykładowo dozory jądrowe tych krajów mają regularne spotkania i mocno ze sobą współpracują.



Fot. 7. WWER-1200 Tibor Széplaki & József Poó Paks II. Ltd Hungary Shanghai, China, 28-31 sierpień 2018

Photo 7. WWER-1200 Tibor Széplaki & József Poó Paks II. Ltd Hungary Shanghai, China, 28-31 August 2018

Węgry w kwestii budowy nowej elektrowni jądrowej porozumiały się z Rosją. Umowy międzyrządowe określiły zakres wkładu i wymagania finansowe. Operator -MVM Paks II. Nuclear Power Plant Development Ltd. i spółka akcyjna Nizhny Novgorod Engineering Company Atomenergoproekt (nowa nazwa: spółka akcyjna ASE Engineering Company „ASE” – Engineering Division of ROSATOM, czyli po prostu ROSATOM) podpisały w dniu 9 grudnia 2014 r. trzy umowy dotyczące budowy nowej elektrowni jądrowej.

- Umowa Engineering, Procurement and Construction (EPC) – parametry inżynierii, zakupu i budowy dwóch nowych bloków jądrowych;
- Umowa wsparcia O&M – obsługa i wsparcie utrzymania;
- Umowa paliwowa dotycząca dostaw paliwa oraz wywozu i składowania wypalonego paliwa (umowa paliwowa).

W dniu 27 lutego 2018 r. węgierski operator Paks II. Ltd. przekazał lokalizację dla ASE Engineering Company (ROSTATOM) pod budowę pierwszych obiektów bazy budowlano-montażowej. Rozpoczęto budowę pierwszych obiektów kompleksu budowlano-montażowego (około 80 budynków). Był to jeden z najbardziej złożonych wniosków licencyjnych w dziedzinie jądrowej. Należało uzasadnić, że wszystkie wymagania bezpieczeństwa jądrowego są spełnione przez nowe jednostki elektrowni jądrowej. Sporządzono ponad 250 tys. stron dokumentacji. Ograniczenia dla zaangażowania strony rosyjskiej: 55% dostawców wybieranych na terenie Unii Europejskiej w formie otwartych zamówień publicznych. W tych przetargach firmy/organizacje związane z ROSATOMEM nie mogą brać udziału.

JSC Nishny Novgorod Engineering Company Atomenergoproekt (nowa nazwa: ASE).

Firma ta została założona w 1951 r. w ramach Tiepłoennergoprojekt. Od 2007 r. działa pod nazwą JSC NIAEP. Spółka zależna Rosatom-u jest odpowiedzialna za świadczenie usług (przeglądy, planowanie, prace budowlane, zamówienia, nadzór budowlany, rozruch, usługi inżynierskie) w dziedzinie budowy elektrowni jądrowych. Buduje rosyjskie, jak i zagraniczne elektrownie.

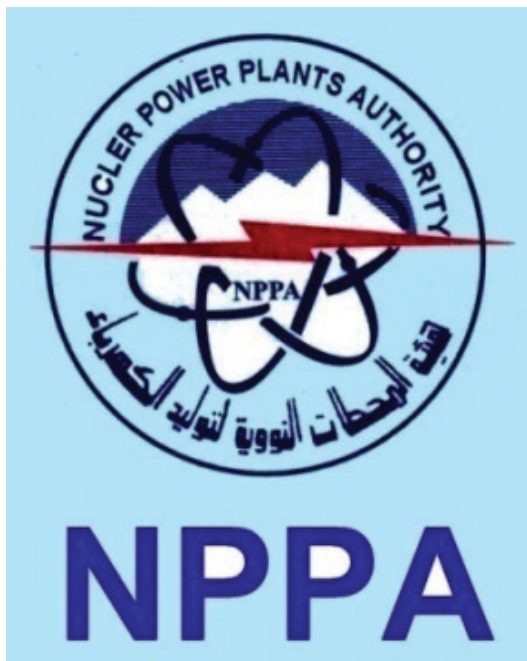
Umowa EPC (podają za Tiborem Széplaki i Józsefem Poó) obejmuje następujące elementy:

- TURN – KEY: Nowe elektrownie jądrowe będą budowane przez Wykonawcę „pod klucz” z każdym niezbędnym do pracy elektrowni wyposażeniem i częściami zamiennymi.
- BETTER PRICE THAN THE FINNISH: Cena musi być konkurencyjna i powinna zawierać podział cen („stosować politykę otwartych ksiąg”) dla konkurencyjnej ceny energii elektrycznej.
- GUARANTIES: Strona rosyjska jest zobowiązana do udzielenia odpowiednich gwarancji.
- SAFETY: Osiągnięcie racjonalnie możliwego najwyższego poziomu bezpieczeństwa technologicznego zgodnie z przepisami międzynarodowymi, unijnymi i węgierskimi.
- FIXED DEADLINE: Jest ustalony ostateczny termin dla wdrożenia strony rosyjskiej.
- Jest również ustalona data spłaty pożyczki przez stronę węgierską.

c. Egipt

W dniu 19.11.2015 r. rząd Egiptu i Federacja Rosyjska podpisały umowy: międzyrządową (IGA) oraz międzyrządową finansową (FIGA). Data wejścia w życie 11.12.2017.

Wkład finansowy: rząd Federacji Rosyjskiej 85% jako pożyczka – 15% rząd Egiptu. Właściciel EJ NPPA. Ma być zbudowany jeden reaktor WWER-1200.



Fot. 8. NPPA egipski operator EJ. Sahar Bahey Eldin Arafat Nuclear Power Plants Authority (NPPA) Shanghai, China, 28-31 sierpień 2018
Photo 8. NPPA Egyptian operator EJ

To kilka z kilkudziesięciu umów. Skala działalności ROSATOM-u jest możliwa tylko dlatego, że jest koncernem państwowym dysponującym zasobami potężnego kraju. Może więc na potrzeby poszczególnych projektów dysponować odpowiednimi finansami, które dla prywatnych firm byłyby nieosiągalne. Jednakże realizacja tak wielu działań naraz wymaga bardzo sprawnego zarządzania.

4. Systemy Zarządzania w tym i zintegrowany

Na zakończenie więc mały odnośnik do polskich zagadnień, jedna ze specjalizacji autora to systemy zarządzania. Jeszcze nie tak dawno rosyjskie zarządzanie przedsiębiorstwami, czy obiektami jądrowymi polegało na spełnianiu przez te podmioty wymagań prawnych i regulacyjnych oraz norm takich jak ISO. Jednakże jeżeli się prowadzi samych zagranicznych projektów od 60 do 80 (zależy kto i jak liczy) to przestaje to wystarczać – nie mówiąc już o stosowaniu najprostszej piramidalnej struktury zarządzania. Jak trudne jest nowoczesne zarządzanie polskim niewielkim przemysłem jądrowym: NCBJ, ZUOP i PGE EJ1 przekonały

się na własnej skórze implementując wymagania dotyczące Zintegrowanych Systemów Zarządzania (samo spełnienie wymagań prawnych i regulacyjnych zajęło trochę czasu). W tej chwili praktycznym zarządzaniem na etapie eksploatacji obiektów jądrowych zajmuje się Narodowe Centrum Badań Jądrowych i Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych.



Rys. 1. Typowy zintegrowany system zarządzania w rosyjskich zakładach produkcji paliwa jądrowego we wczesnych latach dwudziestego pierwszego wieku- przed 2010. K.V.Grabelnikov, Ph.D., GK RosAtom, Russia
Fig. 1. A typical integrated management system at Russian nuclear fuel production facilities in the early 1920s before 2010. K.V.Grabelnikov, Ph.D., GK RosAtom, Russia

Systemy zarządzania wprowadzane w NCBJ i ZUOP są aktualnie mniej więcej takie jak na rys. nr 1. To proste i konserwatywne systemy zarządzania procesowego. Rosjanie poszli już znacznie dalej. W rosyjskich przedsiębiorstwach związanych z energetyką jądrową obowiązują systemy zarządzania oparte na rdzeniu: czyli normach i standardach (w tym jakości) opartych o normy rosyjskie i przepisy (dekrety prezydenckie itp.) oraz systemy zarządzania oparte o normy krajów, dla których rosyjskie przedsiębiorstwo jest dostawcą technologii czy produktu. Jest to trudne i skomplikowane, ale daje rosyjskiej firmie przewagę w konkurencji z zagranicznymi dostawcami. Produkt rosyjski będzie zgodny z wymaganiami zagranicznego kontrahenta, ale nie vice versa. Rosjanie tłumaczą stosowanie swoich przepisów kwestiami bezpieczeństwa – normy takie jak ISO 9001 nie są bezpośrednio zorientowane na bezpieczeństwo. W tej chwili trwają międzynarodowe rozmowy na temat unifikacji rosyjskich norm jakościowych z amerykańskimi, francuskimi czy brytyjskimi. Ułatwiłoby to ewentualną partycypację przedsiębiorstw zagranicznych w rosyjskich inwestycjach. Postępowanie rosyjskich przedsiębiorstw przypomina w tej kwestii nieco strategię, którą opracował Steve Jobs. Amerykanin był oskarżany o to, że jego firma Apple nie jest ekologiczna, bo nie przyjęła norm dotyczących ochrony środowiska opracowanych przez organizacje ekologiczne. Jobs stwierdził, że narzucane standardy są dla niego śmiesznie słabe, jego norma będzie znacznie bardziej

rygorystyczna i opracował produkt tak zaawansowany technologicznie, że znacznie wyprzedzał w kwestiach środowiskowych ewentualnych konkurentów.

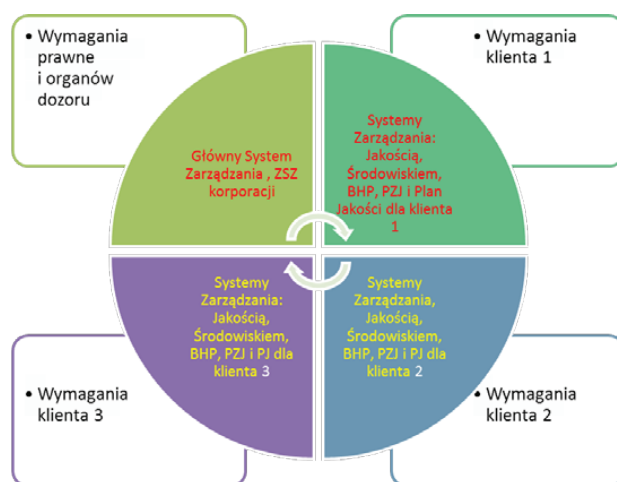
Oczywiście taką strategię można przyjąć, tylko gdy dysponujemy dużą wiedzą w danej dziedzinie. Z każdą nową inwestycją, projektem, nowym reaktorem, nowym opracowanym paliwem wiedza i doświadczenie Rosjan (czyli przewaga w tej dziedzinie) wzrasta. To samonapędzający się mechanizm. Z reguły w naukach o zarządzaniu wyróżnia się cztery klasy systemów: pierwszy to klasyczna piramida zarządcza, w której przełożony wydaje polecenie, a kolejne szczeble go wykonują.

Drugą klasę stanowi zarządzanie procesowe. Trzecia klasa to system permanentnej ofensywy – przedsiębiorstwo cały czas zdobywa nowe rynki – ale raczej w zakresie swojej specjalności. Czwarta klasa – przed-

siębiorstwo jest inteligentnym drapieżnikiem, który zdobywa coraz to nowe nisze ekologiczne (miejsca zdobywania zasobów) mocno od siebie się różniące. Trudno ocenić jak daleko rosyjskie systemy zarządzania odeszły od drugiej klasy. W każdym razie nie jest to już proste zarządzanie procesowe.

Przedstawmy konkretny przykład: rosyjskie zakłady wytwarzające paliwo jądrowe, należące do ROSATOM-u, łączą standardy (przede wszystkim w dziedzinie jakości) – tak, aby być zgodnym z wymaganiami najróżnorodniejszych odbiorców.

Podstawowy zestaw norm to: IAEA Safety Standards, IAEA Guidance, ISO 9001, ISO 14001, BS OHSAS 18001, 10 CFR 50 Appendix B, NQA – 1 i wymagania poszczególnych klientów. W uproszczeniu wygląda to mniej więcej tak:



Rys. 2. Korporacyjny System Zarządzania Jakością i Zintegrowany System Zarządzania w Zakładach Cyklu Paliwowego (JSC NCCP, Nowosybirsk) ROSATOM K.V.Grabelnikov, Ph.D., GK RosAtom, Russia

Fig. 2. Corporate Quality Management System and Interrelated Fuel Cycle Management System (JSC NCCP, Novosibirsk) ROSATOM K.V.Grabelnikov, Ph.D., GK RosAtom, Russia

Jeżeli mamy do czynienia z koncernem, który musi zarządzać ponad 300 przedsiębiorstwami, niektórymi unikatowymi w swojej klasie możemy wyobrazić sobie stopień skomplikowania. Sami Rosjanie nie do końca są jeszcze zadowoleni z działania systemów zarządzania, trudno bowiem zintegrować różne sposoby widzenia różnych zagadnień, a do tego dochodzą jeszcze wymagania międzynarodowych standardów bezpieczeństwa (np. Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej). Na koniec łyżka dziegciu – jednym z najważniejszych składowych systemów zarządzania jest system zarządzania ryzykiem. Według analiz ryzyka – jeżeli kwestie ekonomiczne czy techniczne wyglądają korzystnie dla Rosjan, to w przypadku rosyjskich inwestycji jądrowych istnieje olbrzymie ryzyko polityczne – ale to już zagadnienie dla zupełnie innych specjalistów.

Piotr Leśny,
Państwowa Agencja Atomistyki,
Warszawa

Literatura:

- [1] Strona internetowa IAEA PRIS(POWER REACTOR INFORMATION SYSTEM): <https://pris.iaea.org/PRIS/home.aspx>
- [2] Paks II. project in Hungary Tibor Széplaki & József Poó Paks II. Ltd Hungary Shanghai, China, 28-31 Sierpień 2018.
- [3] Strona internetowa BelarusFeed: <https://belarusfeed.com/>
- [4] Białoruska strona internetowa TUT BY: <https://www.tut.by/>
- [5] Strona internetowa ROSATOM-u: <https://www.rosatom.ru/en/>
- [6] Strona internetowa Białoruskiej Elektrowni Jądrowej: <http://www.belaes.by/ru/>
- [7] Wikipedia : rosyjska, polska i białoruska.
- [8] Raport roczny z 2018 ROSATOM-u.
- [9] Strona internetowa World Nuclear Association- Nuclear Power in Russia: <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power.aspx>
- [10] "Risk Management in the infrastructure" Sahar Bahey El-din Arafat Nuclear Power Plants Authority (NPPA) Shanghai, China, 28-31 Sierpień 2018.
- [11] Integration of the Multiple Management System Standards Requirements. Russian Fuel Cycle Facilities Experience K.V.Grabelnikov, Ph.D., GK RosAtom, Russia

BADANIA NIENISZCZĄCE - WERYFIKACJA MATERIAŁÓW JĄDROWYCH

Non destructive Analysis – verification of Nuclear Materials

Krzysztof Rzymkowski

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono systemy pomiarowe stosowane do weryfikacji materiałów jądrowych w systemie zabezpieczeń.

Abstract: The study presents measuring systems used for verification of nuclear materials in the Safeguards.

Słowa kluczowe: badania nieniszczące, pomiar promieniowania gamma, analizator wielokanałowy, wypalone paliwo, system zabezpieczeń MAEA.

Keywords: non destructive analysis, gamma ray measurement, multichannel analyser, irradiated fuel, IAEA safeguards.

Zadaniem Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej jest kontrola wypełniania warunków Traktatu o Nie-rozprzestrzenianiu Broni Jądrowej (*Non-Proliferation of Nuclear Weapons Treaty - NPT*), przez sygnatariuszy układu. Realizacja tego celu jest osiągnięta przez długoterminowe, okresowe sprawdzanie, czy nie nastąpiło przesunięcie materiałów jądrowych z zastosowań pokojowych do militarnych umożliwiające wytworzenie jądrowych urządzeń wybuchowych. Podstawą systemu kontroli jest **ewidencja materiałów jądrowych**, prowadzona oddzielnie dla każdego rejonu bilansu materiałowego, zawierająca informacje o materiale jądrowym (składzie, ilości, lokalizacji, zmianach składu, ruchu materiału). Potwierdzenie deklarowanych informacji uzyskuje się poprzez dokonywanie w czasie inspekcji różnego rodzaju pomiarów tzw. badań nieniszczących (*non – destructive analysis – NDA*), poczynwszy od elementarnego policzenia sztuk materiałów jądrowych (np. zastawów paliwowych), bezpośrednich pomiarów właściwości fizycznych, składu izotopowego, odczytu monitorów pracujących w systemie ciągłym, sprawdzenia plomb.

Badania nieniszczące polegają na pomiarze właściwości fizycznych materiałów jądrowych bez naruszania ich postaci fizycznej. Pomiary przeprowadzane są z różnym poziomem dokładności zależnym od aktualnie obowiązujących kryteriów. Celem badań jest wykrycie ewentualnych niezgodności z deklarowanym stanem bilansu. Najmniej dokładna metoda pomiarowa ma na celu wykrycie dużego niedoboru (*gross defect*) materiału jądrowego.

Pomiary podlegają sprawdzeniu, czy nie nastąpiło ukrycie kilku elementów (sztuk) zawierających materiał jądrowy i zastąpienie ich odpowiednio skonstruowanymi atrapami. W wielu przypadkach wystarczy potwierdzenie obecności materiału jądrowego w deklarowanym rejonie. Dokładniejsza metoda pomiarowa ma na celu wykrycie częściowego niedoboru (*partial defect*) i pozwala sprawdzić, czy w poszczególnych elementach znajduje się deklarowana ilość materiału jądrowego i czy jego skład izotopowy oraz rozmieszczenie w np. w pręcie paliwowym oraz waga, odpowiadają wartościom deklarowanym.

Najdokładniejszą metodą pomiarową mającą na celu wykrycie małego niedoboru (*small defect*) jest przeprowadzenie metodą badań niszczących (*destructive analysis – DA*). Wymaga to pobrania próbek materiału jądrowego i przesyłanie ich do niezależnych ośrodków badawczych w celu przeprowadzenia dokładnej analizy spektralnej i chemicznej. Ta metoda pozwala wykryć, czy nie nastąpiło usunięcie niewielkiej ilości materiału jądrowego z wielu elementów.

Bardzo istotne dla wiarygodności przeprowadzanej kontroli jest określenie ilości badanych elementów zawierających materiał jądrowy. W tym celu opracowano wzór umożliwiający określenie statystycznie znaczącej ilości elementów (**Sample Size**), wiążący całkowitą ilość elementów danego typu zawierających jednakowe materiały jądrowe, znaczącą ilość (SQ) dla tego rodzaju materiału jądrowego, oraz spodziewane prawdopodobie-

bieństwo wykrycia braku materiału określającą dokładność metody pomiarów. Dokładność pomiarów w tej metodzie jest bardzo wysoka (błąd pomiaru jest poniżej 1%)¹.

Nową bardzo efektywną metodą wykrywania niezadeklarowanych czynności z udziałem materiałów jądrowych jest **analiza próbek środowiskowych** (*Environmental sampling ES*). Próbkę środowiskową są to „wymazy” pobierane w obszarze spodziewanej obecności materiału jądrowego pozwalające odtworzyć działania z nim związane i porównać z oficjalnymi deklaracjami. Próbkę pobierane są z powierzchni różnych przyrządów, ścian budynków, osadów w zbiornikach, roślin gleby, filtrów, wody, powietrza. Brak jakichkolwiek śladów materiału jądrowego potwierdza brak nielegalnych działań.

Należy podkreślić, że prace badawcze nad ulepszeniem metod pomiarowych, ich dokładności, wielowymiarowości są nieustannie prowadzone w państwach sygnatariuszach NPT i przedstawiane do akceptacji przez MAEA. Różnorodność obiektów narzuca dodatkowo wymóg dostosowania metod pomiarowych do specyficznych technologii wykorzystywanych w tych obiektach.

MAEA powinna mieć możliwość: obserwacji, czy próbki materiału (do badań nieniszczących, niszczących) w kluczowych punktach pomiarowych wykorzystywanych do celów ewidencji były pobierane tak, by zapewnić ich reprezentatywność, obserwacji obróbki i analizy próbki, czy przeprowadzane pomiary są dla celów ewidencji reprezentatywne, obserwacji prawidłowości skalowania przyrządów, poprawności ich pracy i innego używanego sprzętu. W razie konieczności MAEA powinna uzgodnić z Państwem przeprowadzenie dodatkowych pomiarów, pobrania dodatkowych próbek przeprowadzenia ich analizy stosując uzgodnione metody skalowania i pomiaru. Ponadto w celu zapewnienia niezależności badań MAEA może wykorzystywać własny sprzęt pomiarowy i monitorujący, stosować własny system plombowania urządzeń magazynów pojemników transportowych itp.

Badania nieniszczące

Badania nieniszczące są podstawowym rodzajem badań materiałów jądrowych wykorzystywanym do weryfikacji informacji o materiałach jądrowych deklarowanych przez państwo. Ze względu na dużą rozpiętość

mierzonych parametrów wykorzystywanych jest bardzo wiele systemów pomiarowych. Inną ważną przyczyną różnorodności aparatury jest sposób wykorzystania przyrządów pomiarowych. Czasem do mierzenia tej samej wielkości fizycznej można użyć przyrządów o różnych konstrukcjach. Zależy to od rodzaju konstrukcji elementów zawierających materiały jądrowe, od materiałów jądrowych i ich postaci, fazy cyklu paliwowego itp. Są to na ogół przyrządy przenośne o małych rozmiarach używane w czasie inspekcji zwykłych lub bardziej rozbudowane używane przy inspekcjach sprawdzających stan inwentarza jak urządzenia stacjonarne wykorzystywane w cyklu technologicznym. Oprócz pomiarów związanych ściśle z promieniowaniem konieczne jest również wykorzystanie mierników ciepła masy, objętości cieczy zawierających materiały jądrowe, grubości ścian zbiorników, absorpcji światła, temperatury. Szacuje się, że ilość różnorodnych systemów pomiarowych jest bliska 100.

Ze względu na różnorodność pomiarów jednoznaczna klasyfikacja pomiarowych przyrządów NDA jest utrudniona. Zwykle przyjmuje się podział na cztery podstawowe grupy:

ze względu na rodzaj użytego promieniowania

- systemy pomiarowe wykorzystujące promieniowanie γ ,
- systemy pomiarowe wykorzystujące promieniowanie neutronowe i uwzględniając przeznaczenie,
- systemy pomiarowe wypalonego paliwa,
- systemy pomiarowe różnych wielkości fizycznych.

W każdej grupie systemów pomiarowych wydzielono sześć rodzin przyrządów pomiarowych, uwzględniając ich specyficzne właściwości powiązane z dokładnością pomiarów i rodzajem badanego materiału jądrowego.

Systemy pomiarowe wykorzystujące promieniowanie γ

Promieniowanie γ jest promieniowaniem elektromagnetycznym o wysokiej częstotliwości. Spektrometria promieniowania γ polega na ilościowym badaniu widma energetycznego promieniowania gamma. Spektrometria promieniowania γ jest jedną z najlepiej opracowanych i szeroko wykorzystywanych technik pomiarowych szczególnie użytecznych w badaniach nieniszczących. Pozwala ona ustalić z bardzo dużą dokładnością skład izotopowy materiałów jądrowych (uranu i plutonu) i może w pewnych warunkach umożliwić określenie ilości materiału. Istotną zaletą tej metody pomiarowej jest możliwość weryfikacji wzbogacenia uranu. Ponadto pomiary spektrometryczne intensywności promieniowania γ mogą być wykorzystane do weryfikacji daty wyładowania wypalonego paliwa z reaktora.

¹ Ilość badanych elementów, rozmiar próbki (*Sample size*) jest określana według wzoru będącego przybliżeniem hipergeometrycznego rozkładu prawdopodobieństwa. $n = N(1 - \beta^{x/M})$, gdzie N jest liczbą oddzielnych elementów (sztuk) w partii posiadających ten sam skład chemiczny (skład izotopowy), β jest prawdopodobieństwem nie wykrycia braku materiału, x jest średnią ilością materiału jądrowego w elemencie (kg), M odpowiada znaczącej ilości materiału jądrowego SQ (kg).

System spektrometrii gamma składa się z detektora, przetworników analogowo cyfrowych formujących sygnały otrzymywane z detektora, komputera, pamięci oraz oprogramowania pozwalającego na przetworzenie zebranych danych i ich wizualizację. Energia fotonu promieniowania docierającego do detektora zostaje zamieniona na impuls elektryczny, którego amplituda jest proporcjonalna do energii fotonu. Następnie przeprowadzana jest segregacja sygnałów według wielkości amplitudy. Analizujący wyniki program komputerowy zapisuje sygnały o zbliżonych amplitudach w jednym kanale (liczniku) i przygotowuje wizualizację widma energii. Program może być rozbudowany, tak że przy zastosowaniu odpowiednich przeliczeń można uzyskać bardzo wiele dodatkowych informacji o materiale, a sama obsługa przyrządu powinna być łatwa. W nowoczesnych spektrometrach gamma liczba kanałów jest zmieniana programowo. Powszechne używane wartości to 512, 1024, 2048, 4096, 8192 lub 16384 kanałów. Wybór liczby kanałów zależy od rozdzielczości systemu detekcyjnego i zakresu energetycznego promieniowania.

Analizatory wielokanałowe – spektrometry, wykorzystywane w systemach pomiarowych międzynarodowego systemu zabezpieczeń są przede wszystkim przeznaczone do wykrywania i pomiaru materiałów jądrowych, które mogą być potencjalnie użyte do budowy jądrowych urządzeń wybuchowych. Dlatego też wysiłek konstruktorów tej aparatury został skoncentrowany na osiągnięciu jak najdokładniejszych pomiarów izotopów uranu i plutonu. Aparatura wraz z postępem technicznym staje się też coraz bardziej zminiaturyzowana i skomputeryzowana. Miniaturyzacja i zmniejszenie wagi przyrządu stanowią ważną cechę szczególnie dla inspektorów, przeprowadzających inspekcje niezapowiedziane, w których czasie muszą przeprowadzić pomiary, przywożąc z sobą aparaturę pomiarową. Wcześniej jej wysłanie do obiektu zapowiedziałyby inspekcję. Zastosowana w nowoczesnych analizatorach technika cyfrowa pozwala na znaczną eliminację układów analogowych, zwiększając stabilność, dokładność i powtarzalność przetwarzanych danych. O dokładności pomiaru decydują detektory promieniowania γ . Obecnie dopuszczone do pomiarów spektrometrycznych w MAEA są detektory NaI, CdZnTe, HPGe, detektory gazowe (np. typu Licznika Geigera-Müllera, lub detektory ksenonowe).

Najstarszym typem detektora promieniowania γ w MAEA jest detektor scyntylacyjny NaI. Jego duża objętość wynika ze znacznych wymiarów scyntylatora i fotonowielacza. Rozdzielczość energetyczna detektora jest mała, mimo to ma on szerokie zastosowanie w wykrywaniu promieniowania γ np. przy określaniu wymiarów aktywnej części pręta paliwowego.



Fot. 1. Miniaturowy wielokanałowy analizator z detektorem NaI i mini komputerem

Photo. 1. Miniature Multichannel Analyser – MMCN with NaI detector (IAEA)

Znacznie lepszą rozdzielczość energetyczną mają germanowe detektory półprzewodnikowe. Inną bardzo istotną ich zaletą są małe wymiary i możliwość wykonania w postaci płaskich płytek lub długich walców co ułatwia ich wprowadzenie do mierzonego obszaru. Istotną wadą tego rodzaju detektorów jest to, że powinny pracować w niskich temperaturach, co wymaga chłodzenia azotem. W nowoczesnych rozwiązaniach stosowane jest chłodzenie wymuszane przez systemy elektryczne.

Najlepsze właściwości pomiarowe posiadają detektory półprzewodnikowe z telurkiem kadmu CdZnTe (wcześniejsza wersja CdTe). Nie wymagają chłodzenia, a właściwości telurku kadmu pozwalają na budowę detektora o naprawdę miniaturowych wymiarach co umożliwia umieszczenie go w różnych sondach i dokonanie pomiarów w trudno dostępnych obszarach. Kontynuacją tego typu detektorów są próby wykorzystania bromku lantanu LaBr₃, którego właściwości mają mieć zalety detektorów z telurkiem kadmu i jodkiem sodu NaI.



Rys. 2. Miniaturowy wielokanałowy analizator z detektorem CdZnTe i mini komputerem (Miniature multichannel analyser with CdZnTe detector – MMCC) (IAEA)

Fig. 2. Miniature multichannel analyser with CdZnTe detector – MMCC (IAEA)

Detektory gazowe charakteryzują się długotrwałą stabilnością. Wynika to z braku wpływu zmian temperatury lub promieniowania na przenoszenie ładunku elektrycznego w gazie. Wysoka stabilność detektorów jest istotna w systemach monitorowanych bez nadzoru, gdzie temperatura tła i promieniowanie różnią się znacznie.

Nowością jest zastosowanie wysokociśnieniowych komór jonizacji ksenonowej jako detektorów γ o niskiej rozdzielczości.

Spektrometria γ o niskiej i średniej rozdzielczości jest głównie wykorzystywana do ilościowych weryfikacji materiałów jądrowych. Przeważają, jednakże badania jakościowe. Do badań wykorzystywane są specjalizowane zestawy aparatury. Przykładowo: znajdują się one w zestawie do weryfikacji wzbogacania UF_6 , gdzie stosowany jest detektor typu HPGe, sprawdzenie obecności izotopów ^{235}U i ^{241}Pu w świeżym paliwie MOX, dokonuje się przy użyciu detektora CdZnTe. Do wyznaczania długości aktywnej i weryfikacji wzbogacania U wykorzystuje się detektor NaI, do weryfikacji wzbogacania U i składu izotopowego Pu detektor HPGe chłodzony przez system elektryczny.

Spektrometria γ o wysokiej rozdzielczości jest wykorzystywana przede wszystkim w zakładach wzbogacania uranu zawartego w UF_6 do kontroli w czasie procesu wzbogacania, jak i wzbogacania uranu zawartego w UF_6 w pojemnikach transportowych. Przy pomiarze UF_6 w pojemniku należy uwzględnić grubość ścianki pojemnika, co wymaga dodatkowych pomiarów z użyciem mierników ultradźwiękowych. Ten dodatkowy pomiar jest konieczny do wprowadzenia korekt niwelujących efekty tłumienia i rozproszenia promieniowania. Uzyskiwana dokładność pomiaru wzbogacania uranu przy grubości ścianki pojemnika mniejszej niż 1 cm wynosi 1-2%.

Nowo opracowana metoda pomiaru UF_6 w pojemniku (*Multi-Group Analysis for Uranium*) pozwala uprościć pomiary, eliminując pomiar (bardzo uciążliwy, ponieważ wymaga kilkakrotnego sprawdzenia poprawności) grubości ścianki i ułatwia kalibrację.

Innym ważnym zastosowaniem spektrometrii γ o wysokiej rozdzielczości jest określenie składu izotopowego plutonu. Pluton emituje złożone spektrum promieniowania rentgenowskiego X i wyniki pomiarów są po zebraniu widma analizowane przez specjalistyczne programy. Do najnowszych należy program FRAM (*Response Function Analysis with Multiple Efficiency FRAM*).

W spektrometrii γ o wysokiej rozdzielczości wykorzystywane są systemy stacjonarne, w których stosowane jest stałe chłodzenie detektora. W różnych procesach technologicznych materiały jądrowe występu-

ją w postaci roztworów, w których też jest konieczne określenie składu izotopowego uranu i plutonu oraz stopnia wzbogacenia uranu, co jest ważne dla systemu weryfikacji.

Systemy pomiarowe wykorzystujące promieniowanie neutronowe

Pomiary promieniowania neutronowego są bardzo szeroko wykorzystywane w badaniach nieniszczących szczególnie do weryfikacji materiałów zawierających pluton. Jednym z ważniejszych badań, w których zastosowano pomiary promieniowania neutronowego, jest weryfikacja ilości plutonu i składu izotopowego w świeżym nienapromienionym materiale zawierającym pluton tzn. materiale, który nie był jeszcze używany - wypalany. Pluton używany jest w badaniach laboratoryjnych, reaktorach doświadczalnych, zakładach produkcji paliwa, w paliwie MOX, zakładach doświadczalnych, magazynach świeżych materiałów jądrowych, zakładach przerobu paliwa, zakładach unieszkodliwiania odpadów. Dla każdego rodzaju takiego materiału, jego postaci fizycznej (proszek, ciecz), kształt geometryczny (płytki, sztabki, kulki, pręty) opracowany jest indywidualny sposób pomiaru czasem łącznie ze specjalną konstrukcją detektora. Świeże paliwo MOX jest zwykle przechowywane w zbiornikach basenowych. Weryfikacja plutonu w takim paliwie wymagała opracowania specjalnej metody pomiarowej łącznie z detektorem przystosowanym do pracy w zanurzeniu. W liniach produkcyjnych zakładów jądrowych materiały jądrowe są częściowo przetwarzane w komorach rękawicowych. Występujące tam materiały najczęściej w postaci proszku zawierają również pluton. Opracowano specjalną metodę pozwalającą oszacować jego ilość, dostosowując system detektorów do wymagań procesu produkcyjnego. Mimo ogromnej różnorodności systemów (około 20) pomiarowych zasada pomiaru jest wspólna.

W świeżym nienapromienionym materiale emisja neutronów może być spowodowana spontanicznym rozszczepieniem uranu i plutonu, wywołana sztucznie przez strumień neutronów pochodzący ze źródła zewnętrznego lub być wywołana promieniowaniem α i neutronowym pochodzącym również ze źródeł zewnętrznych.

Zasada pomiaru plutonu polega na wykrywaniu „koincydencji” neutronów.

W czasie jednego zdarzenia rozpadu emitowanych jest 0-10 neutronów. W 75% rozpadów emitowane są 2 lub więcej neutronów. Przyjmuje się, że średnio w jednym rozpadzie emitowane są w tym samym czasie 2 neutrony. Zadaniem detektora koincydencji jest wyodrębnienie neutronów pochodzących z rozpadu w materiale od neutronów pochodzących z innych źródeł włączając w to neutrony wtórne. Wszystkie izotopy uranu, plutonu i transuranowców emitują również promieniowanie α , którego

cząstki reagują z lekkimi pierwiastkami (tlenki, fluorki) lub z innymi zanieczyszczeniami materiału beryl, bor przy pewnych energiach powodują dodatkową emisję neutronów. Wykrycie 2 neutronów – koincydencja w tym samym czasie pozwala sądzić, że pochodzą one z tego samego rozpadu i wszystkie inne neutrony wychwycone w przypadkowych chwilach czasowych stanowią tło.

Znając ilość neutronów powstałych w spontanicznych procesach rozpadu ^{238}Pu , ^{240}Pu , ^{242}Pu oraz znając skład izotopowy, zweryfikowany za pomocą spektrometrii γ o wysokiej rozdzielczości, można określić masę plutonu. Wpływ ^{239}Pu , mimo że stanowi on około 60% ilości plutonu w materiale, na sygnał powstały z rozpadów spontanicznych jest nieduży. Uzyskiwana tą metodą dokładność dochodzi do 1%. Powyższa metoda pomiarowa nazywana jest metodą pasywną, ponieważ do wykrycia koincydencji nie jest używane żadne źródło pomocnicze wzmagające proces samoistnego rozpadu. Ponieważ rozszczepialny izotop ^{235}U nie wytwarza dostatecznej ilości samoistnych rozpadów koniecznych do wykrycia koincydencji, do zestawu pomiarowego dołączane jest źródło neutronowe ameryku-litu (AmLi) wywołujące rozszczepienia w uranie. Powoduje to jakby wzbogacenie uranu ^{238}U w próbce, ale nie wpływa w sposób istotny na wynik pomiaru. Ta metoda nazywana jest metodą aktywną.

Budowa detektora do pomiarów koincydencyjnych jest bardzo złożona i samo przeprowadzenie pomiarów wymaga ogromnej staranności ze względu na wysoką czułość.

Detektory neutronów wykorzystują różne reakcje wychwytywania neutronów, aby wytworzyć odpowiedni sygnał elektryczny. Materiałami używanymi do detekcji promieniowania neutronowego są lit, beryl lub hel. W systemach weryfikacji stosowanych w MAEA wykorzystywane są detektory helowe. W wyniku działania promieniowania neutronowego i α cząstka rozpada się, emitując proton ($\text{H}_3 \rightarrow 3\text{H} + \text{proton}$). Proton jonizuje gaz, wytwarzając sygnał elektryczny. Ta reakcja zachodzi dla neutronów termicznych o niewysokiej energii. Przekrój absorpcji neutronów zmniejsza się o rzędy wielkości wraz ze wzrostem energii neutronu. Aby powiększyć zdolności absorpcyjne detektora przed rozpoczęciem detekcji, zmniejsza się energię neutronów. W detektorach realizowane jest to poprzez spowalnianie neutronów na lekkich jądrach wodoru, umieszczając detektor w obudowie polietylenowej.

Rzadziej stosowane są detektory wykorzystujące trójfluorek boru, mniej wydajne, ale też mniej wrażliwe na promieniowanie γ . Prowadzone są badania zastosowania materiałów półprzewodnikowych (węglika boru), które mogą doprowadzić do znacznego zminiaturyzowania aparatury pomiarowej.

Do detekcji promieniowania neutronowego wysokich energii używa się komór jonizacyjnych o zmodyfikowanej konstrukcji. W komorze umieszczana jest folia

U^{235} . Neutrony padając na folię, wytwarzają fragmenty rozpadu o wysokich energiach powodujących szybką jonizację gazu i powstanie sygnału elektrycznego. Wysokie energie powodują nieczułość komory na promieniowanie γ . Są one używane do pomiarów wypalonego paliwa.

Promieniowanie neutronowe jest czasem wykorzystywane do wykrycia dużego niedoboru (*gross defect*) materiału jądrowego. Stwierdzenie obecności promieniowania neutronowego w przedstawionym materiale jest wystarczającym wskaźnikiem obecności materiału rozszczepialnego. Do tego celu używany jest ręczny przenośny przyrząd (*Hand-held Neutron Monitor – HHNM*) wyposażony w trzy liczniki helowe, licznik Geigera-Müllera powiązane z zintegrowaną elektroniką, umożliwiającą wyszukiwanie i lokalizowanie źródeł promieniowania neutronowego. Inna wersja podobnego przenośnego przyrządu pomiarowego jest przeznaczona do badania przepływu materiału jądrowego w zakładach wzbogacania. Analogiczne systemy są również stosowane w systemach monitorowych bez nadzoru.

Aktywne systemy pomiarowe wykorzystywane są do pomiarów zestawów paliwowych w celu weryfikacji zawartości uranu U^{235} w zestawie paliwowym zawierającym wysoko-wzbogacony uran lub do wyznaczania liniowej gęstości masy uranu w świeżych zestawach paliwowych. Pomiaru te wymagają detektorów o specjalnym kształcie otaczających badany element ze wszystkich stron.

Dodatkowe informacje, ułatwiające znacznie proces oznaczenia efektywnej masy plutonu, można uzyskać, wychytując koincydencje wielokrotne. W badaniach wykorzystuje się zjawisko potrójnej koincydencji. Pozwala to na bezpośrednie oszacowanie masy bez dokładnej znajomości składu izotopowego. Wychwycenie potrójnej koincydencji wymaga wysokiej wydajności detekcji. Wymusza to specjalną konstrukcję detektora zapewniającą małe straty (ucieczki) neutronów i mały czas martwy. Zwykle detektory mogą być używane do wychwytywania koincydencji potrójnych, ale ze względu na małą wydajność czas zbierania danych jest bardzo długi.

Systemy pomiarowe wypalonego paliwa

Są dwa rodzaje cyklu paliwowego: cykl zamknięty i otwarty. W **cyklu zamkniętym** paliwo jest poddawane recyklingowi (ponownemu wykorzystaniu), w **cyklu otwartym** wypalone paliwo traktuje się, jako odpad.

Wypalone w reaktorze paliwo jest wysoce radioaktywne i przed dalszym przetwarzaniem w zakładach przerobu paliwa, musi być „schładzane”. Odnosi się to zarówno do bardzo wysokiego poziomu radioaktywności, jak i temperatury. Schładzanie polega na wieloletnim przetrzymywaniu w tymczasowym przechowalni-

ku, którym jest początkowo basen wypalonego paliwa (tzw. mokry przechowalnik) usytuowany w pobliżu reaktora.

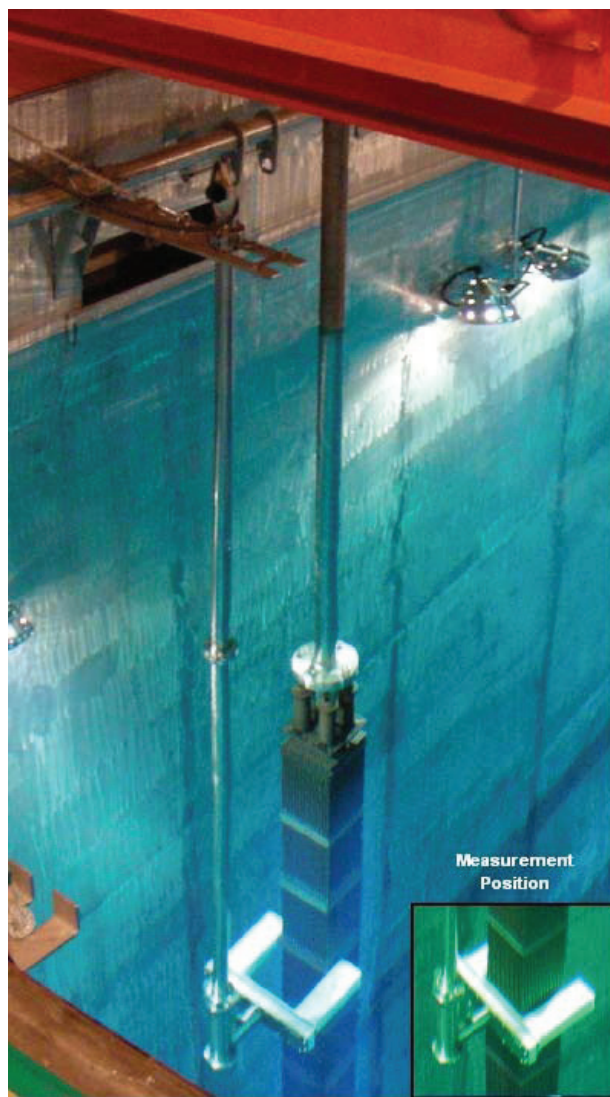
Czas składowania (schładzania) powinien być wystarczająco długi, by umożliwić bezpieczny transport i dalszą bezpieczną „obróbkę” wypalonego paliwa. Poziom promieniowania obniża się w wyniku naturalnego rozpadu krótko żyjących (o krótkim czasie półtrwania) izotopów promieniotwórczych. Temperatura powinna osiągnąć poziom zbliżony do temperatury otoczenia, by nie było konieczności dodatkowego chłodzenia przy dalszej obróbce. Paliwo pracujące w reaktorze ulega bowiem bardzo znacznemu rozgrzaniu i wysoką temperaturę może utrzymywać jeszcze przez długi okres. Określa się, że nawet po upływie 10 lat 1 tona wypalonego paliwa nadal wydziela około 1 kW ciepła.

W zależności od przyjętych rozwiązań technologicznych, po pobycie i wystudzeniu w przechowalniku **mo-krym**, wypalone paliwo może być następnie przechowywane w przechowalniku **suchym**, skąd jest transportowane do zakładów przerobu paliwa, gdzie odzyskiwane są przede wszystkim dwa pierwiastki – uran i pluton – używane do produkcji nowego paliwa. Tymczasowe mokre przechowalniki paliwa – baseny, przeznaczone do schładzania wypalonego paliwa, są zwykle lokalizowane w pobliżu reaktora. W przypadku, gdy na terenie elektrowni znajduje się kilka reaktorów, może być wybudowany dodatkowy basen wspólny dla wszystkich reaktorów, w którym jest przechowywane paliwo poprzednio już bardzo wystudzone w basenach przy reaktorowych. Jest to przechowalnik pośredni pozwalający czasowo opróżnić baseny przyreaktorowe, z którego paliwo jest transportowane do zakładów przerobu.

Do weryfikacji materiałów jądrowych w wypalonym paliwie wykorzystywane jest promieniowanie neutronowe i γ .

Głównym źródłem promieniowania neutronowego w wypalonym paliwie są izotopy kiuru, które są produktem wypalenia. Wysoki poziom promieniowania neutronowego i γ wypalonego paliwa ma wpływ na wybór sposobów weryfikacji. Powoduje to zastosowanie różnego rodzaju przyrządów wykorzystujących tylko jeden z rodzajów promieniowania lub oba. Wykorzystywane jest również promieniowanie świetlne (ultra fiolet – promieniowanie Czerenkowa) będące najczęściej stosowaną metodą weryfikacji wypalonego paliwa. Badając widmo energetyczne wypalonego paliwa, można uzyskać bardzo wiele informacji o stopniu wypalenia, czasie chłodzenia, początkowej zawartości paliwa i liczbie cykli prac w reaktorze. Do weryfikacji wypalonego paliwa używanych jest około 10 wyspecjalizowanych przyrządów.

Ze względu na wysoki poziom promieniowania pomiary zestawów pomiarowych są przeprowadzane w zanurzeniu. System pomiarowy zamontowany jest na brzegu basenu i zestawy paliwowe są przenoszone z pozycji magazynowania pomiędzy zestaw detektorów składający się z komory jonizacyjnej niewrażliwej na promieniowanie γ oraz niezależnych detektorów promieniowania γ . Sygnały z systemu detektorów po przetworzeniu są analizowane przez komputer, pozwalając zweryfikować dane przedstawione przez operatora obiektu. Pomiary wykonywane w kilku pozycjach wzdłuż zestawu paliwowego, który przez cały czas operacji jest zawieszony na dźwigu. Zestawy detektorów są inne dla reaktorów BWR, PWR ze względu na różne wymiary geometryczne zestawów paliwowych. Ten rodzaj konstrukcji detektora znany jest pod nazwą FDET – Fork Detektor, w którym między widelkami widelca przesuwana się zestaw paliwowy.



Fot. 3. Pomiar wypalonego paliwa Fork Detector

Photo 3. Fork detector irradiated fuel measuring system - FDET) (IAEA)

Specjalną konstrukcję sondy pomiarowej składającej się z detektora półprzewodnikowego CdZnTe promieniowania γ i komory jonizacyjnej zastosowano w systemie pomiarowym do weryfikacji Paliwa MOX przechowywanego w basenie. Wymiary sondy są tak dopasowane, by mieściła się ona w kanale stojaka paliwa, przy czym może ona pracować w systemie pasywnym lub aktywnym.

Basen wypalonego paliwa jest przechowalnikiem przejściowym, ale w pewnych przypadkach w wyniku wad mechanicznych lub korozji zestawy paliwowe ulegają trwałemu uszkodzeniu, uniemożliwiając ich usunięcie z basenu. Istnieje scenariusz przewidujący zamianę takiego zestawu lub innego zestawu nieuszkodzonego i zastąpienie ich atrapami. Wypalone paliwo jest źródłem materiałów jądrowych, które mogą mieć znaczenie militarne. Opracowano szereg metod potwierdzenia, że obserwowany zestaw jest zestawem paliwowym. Podstawową metodą jest obserwacja promieniowania Czerenkowa. Przyrząd do obserwacji promieni jest stale udoskonalany np. przez połączenie go z systemem fotograficznym, umożliwia identyfikację bardzo starego paliwa przechowywanego przez długi okres. Promieniowanie Czerenkowa słabnie wraz z chłodzeniem paliwa i może stać się niewidoczne. Długotrwałe naświetlanie płyty fotoczulej pozwala odtworzyć słabo widoczny obraz.



Fot. 4. Pomiar wypalonego paliwa detektor promieniowania Czerenkowa
Photo 4. Improved Cerenkov viewing device – ICVD for irradiated fuel verification (IAEA)

Inną metodą potwierdzenia, że w ściśle wypełnionym basenie poszczególne elementy są paliwem, jest dokonanie pomiaru widma energetycznego na szczycie stojaka z paliwem przy pomocy zestawu pomiarowego składającego się z analizatora wielokanałowego wyposażonego w detektor (NaI lub CdZnTe) ustawionego nad podejrzanym zestawem. Zebranie widma jest ważne, ponieważ atrapa mogłaby zawierać wyłącznie izotop wywołujący promieniowanie Czerenkowa. Analogiczną metodą można sprawdzić zestawy paliwowe w nieprzeładowanym stojaku posiadającym wolne kanały, do których można wprowadzić detektor.

W reaktorach w ośrodkach badawczych używane są różne rodzaje zestawów paliwowych, które po wykorzystaniu są składowane w lokalnych basenach. W tych ośrodkach konieczna jest dokładna znajomość i historia wypalonego paliwa dla celów badawczych. Weryfikacja dokonywana jest przez MAEA z wykorzystaniem indywidualnie opracowanych metod przy zastosowaniu specjalnych wodoodpornych konstrukcji detektorów. Podobnie specyfika konstrukcji reaktorów CANDU i sposobu składowania wypalonego paliwa wymagała opracowania metody pomiaru pozwalającej dokonywać weryfikacji w basenie z uwzględnieniem miejsca składowania.

Systemy pomiarowe różnych wielkości fizycznych

W zakresie badań nieniszczących w czasie inspekcji dokonywane są również pomiary pomocnicze wielkości fizycznych, pośrednio związane z pomiarami weryfikacyjnymi materiałów jądrowych. Najczęściej wykorzystuje się wagi. MAEA przyjęła kilka typów wag. Są one wykorzystywane do precyzyjnego pomiaru wagi próbek przeznaczonych do badań niszczących, wag do pomiaru ciężaru pojemników z sybkimi materiałami jądrowymi (np. UF_6 w pojemnikach transportowych) w zakresie do 5t i 20t, wagi do sprawdzenia ogólnej masy zestawu paliwowego, jak i specjalnych urządzeń do określania masy przedmiotów lub elementów paliwowych zanurzonych w basenie. Przed użyciem każdego z rodzajów wag, konieczne jest przeprowadzenie kalibracji przy użyciu wzorców wagi zapieczętowanych i przechowywanych w obiekcie.

Przy pomiarach materiałów w pojemnikach konieczne jest określenie grubości ścianki pojemnika, co jest dokonywane za pomocą ultradźwiękowych mierników grubości.

Stosowane są mierniki pozwalające zmierzyć poziom cieczy w zamkniętych kadziach i określić jej objętość. Bardziej wyrafinowane technologie pomiarowe są wykorzystywane do określania koncentracji uranu i jego wzbogacenie w świeżym roztworze tzn. roztworze jeszcze nieużywanym.

Jednym z nowych wymagań kontrolnych wynikających z Protokołu Dodatkowego do traktatu NPT jest przeprowadzanie okresowej kontroli informacji projektowej (*design information verification* DIV). Weryfikacja prowadzona jest przez inspektorów przez MAEA bezpośrednio na terenie obiektu. Celem jest sprawdzenie poprawności i kompletności przedstawionej informacji projektowej. W przypadku nowo powstającego obiektu sprawdzenie, czy budowa przebiega zgodnie z informacją projektową. Weryfikacja jest prowadzona na każdym etapie budowy, powtarzana okresowo aż do rozbiórki obiektu. W czasie weryfikacji okresowej sprawdzana jest jej dokładność, dokładność opi-

su wprowadzonych zmian i tego, czy wszystkie zmiany deklarowane zostały naniesione na planie obiektu oraz, czy nie dokonano zmian nieuwzględnionych w deklaracji. Wspomożeniem w pracach sprawdzających są laserowe dalmierze. Czasem dla potwierdzenia zgodności przedstawionej dokumentacji może być używany georadar (*Ground-penetrating radar GPR*) pozwalający stwierdzić, że nie powstały żadne podziemne instalacje lub pomieszczenia.

Badanie próbek środowiskowych

Jedną z najnowocześniejszych metod badań nieniszczących uzupełniającą inne metody pomiarowe jest wprowadzanie jako standardu badań, zbieranie próbek środowiskowych – wymazowych (*Environmental Sampling – ES*). Pobieranie próbek polega na przetarciu badanej powierzchni sterylnie czystym próbnikiem – szmatką, gąbką lub w inny sposób np. pobranie próbki powietrza (są to tzw. próbki wymazowe). Następnie przy zachowaniu wszystkich zasad zachowania sterylności próbniaki są przesyłane do specjalistycznego laboratorium MAEA, gdzie są one poddane niezwykle dokładnej analizie. Pobieranie próbek wymazowych jest przeprowadzane w obszarze spodziewanej obecności materiału jądrowego, pozwalając odtworzyć działania z nim związane i porównać z oficjalnymi deklaracjami. Próbkę pobierane są z różnych powierzchni, przyrządów, ścian budynków, osadów w zbiornikach, roślin gleby, filtrów wody i powietrza. Analizę próbek środowiskowych wprowadzono jako jeden ze standardów inspekcji w roku 1996. Przy jej opracowaniu brali czynny udział specjaliści z Polski. Pobieranie próbek wymazowych przyczyniło się znacznie do podniesienia efektywności systemu zabezpieczeń poprzez bardzo precyzyjne zbadanie i potwierdzenie nieobecności materiału jądrowego w miejscach ewentualnego jego ukrycia i potwierdzenie deklarowanego jego wykorzystywania w okresie między inspekcyjnym. Próbkę środowiskowe są pobierane głównie w zakładach wzbogacania uranu, produkcji i przerobu paliwa, oraz jako kontrolny element uzupełniający w ramach Protokołu Dodatkowego.



Fot. 5. Zestaw do pobierania próbek wymazowych
Photo 5. Set for environmental sampling (IAEA)

Analiza próbek jest przeprowadzana w pomieszczeniu czystym o kontrolowanych parametrach środowiskowych, w szczególności pozbawionym zanieczyszczeń typu: pył, kurz, bakterie, opary chemiczne itp. W zależności od wymaganej czystości atmosfery pomieszczenia czyste są dzielone na klasy w MAEA według standardów ISO. Decydującym wskaźnikiem czystości pomieszczenia jest czystość powietrza. Czystość powietrza w laboratorium MAEA w Seibersdorfie koło Wiednia odpowiada klasie 5 w skali ISO.

W laboratorium wykorzystuje się wiele technik analitycznych w tym spektrometrię fluorescencyjną α , β , γ i rentgenowską, mikroskopię elektronową z analizą elektronową i spektrometrię masową o wysokiej czułości. Podobnie, jak przy badaniach niszczących, w celu zachowania poufności pochodzenia próbki przydzielane są im numery kodowe.

Analiza próbek jest wielostopniowa. Początkowo dokonywana jest selekcja próbek. Za pomocą spektrometrii promieniowania γ wykrywane są aktywności (uran i pluton) oraz produkty rozszczepienia lub aktywacji ^{60}Co , ^{137}Cs i ^{106}Ru . Próbkę, których aktywność przekracza dozwolony poziom, są przekazywane bezpośrednio do laboratorium materiałów jądrowych (*Nuclear Material Laboratory – NML*), ponieważ czyste Laboratorium nie ma uprawnień do przechowywania takich próbek. We wstępnym badaniu próbek przeprowadzane jest badanie krzyżowe (*Cross-examination*) sprawdzające, czy pobrane próbki nie zostały przypadkowo zanieczyszczone. Wyselekcjonowane wstępnie próbki są następnie badane za pomocą spektrometru XRF w celu identyfikacji uranu i innych pierwiastków w próbce oraz określenia ich ilości.

Po pomiarach wstępnych fragmenty próbek są przekazywane do dalszej szczegółowej analizy do wybranego laboratorium w sieci laboratoriów analitycznych współpracujących z MAEA (*network of analytical laboratories worldwide -NWAL*). Wybrane próbki są przekazywane do dalszych pomiarów w Czystym Laboratorium przez IDMS (*Isotope dilution mass spectrometry*), bardzo czuły spektrometr masowy. Czułość wykrywania uranu i plutonu pomiaru wynosi 10^{-15}g .

Innym zadaniem Czystego Laboratorium MAEA jest przygotowywanie sterylnych zestawów inspekcyjnych zawierających wszystkie elementy potrzebne inspektorom pobierającym próbki środowiskowe. W zestawie znajdują się czyste szmatki do pobierania wymazów plastikowe szczelnie zamykane torebki do przechowywania pobranych próbek, etykiety, długopis i rękawiczki. Dodatkowo dołączona jest czysta folia aluminiowa jako rodzaj „obrusu”, na którym wykonywane są wszystkie operacje, by uniknąć przypadkowego zanieczyszczenia próbek. Czasem przy pobieraniu wymazów konieczne jest uży-

cie manipulatorów do zdalnego przygotowania próbek. Jeden zestaw jest używany w jednym pomieszczeniu. Przy konieczności pobrania próbek w różnych miejscach powinny być używane różne zestawy, by uniknąć zanieczyszczeń przenoszonych np. na rękawicach.

Do analizy próbek środowiskowych wykorzystywane są różne metody pomiarów spektrometrycznych, przede wszystkim promieniowania γ i rentgenowskiego. W mniejszym stopniu wykorzystywane są również promieniowania α i β . Stosowane są również metody mikroskopowe, łączone zwykle ze spektrometrią promieniowania rentgenowskiego. Część pomiarów może być dokonywana bez specjalnego przygotowania próbek. Niektóre pomiary wymagają długotrwałego przygotowywania obejmującego np. spopielenie próbki (szmatki) w określonej temperaturze i przygotowanie roztworu, z którego metodą wymiany jonowej uzyskiwana jest próbka pomiarowa. Przygotowanie próbki pomiarowej i sam pomiar, są procesem wielogodzinnym. Badania koncentrują się głównie na wydzieleniu w pomiarze izotopów uranu i plutonu. Wyselekcjonowane są i inne pierwiastki. Pozwala to potwierdzić z dużą precyzją zgodność przeprowadzonych procesów, którym poddane są materiały jądrowe, z deklaracjami operatora obiektu. Ma to szczególne znaczenie w procesie wzbogacania i przerobu paliwa. Metody zbierania próbek środowiskowych mogą też być pomocne przy sprawdzaniu ewentualnych dróg nielegalnego wyprowadzania materiału jądrowego z obiektu. W celu potwierdzenia informacji o nieobecności niezgłoszonych materiałów jądrowych lub działalności powiązanej z energetyką jądrową pobierane są próbki środowiskowe we wskazanej przez MEAE lokalizacji (*location specific environmental sampling*).

Nowa aparatura pomiarowa

Stale rosnąca ilość obiektów jądrowych związana z ze wzrostem zapotrzebowania na energię i coraz szerszym wykorzystaniem technik jądrowych w różnych dziedzinach gospodarki powoduje również wzrost ilości materiałów jądrowych, które powinny być objęte międzynarodowym systemem zabezpieczeń. Nowoczesne rozwiązania techniczne wymagają sprawniejszych, nowocześniejszych, bardziej wyrafinowanych mechanizmów kontroli. Wynika to również z możliwości unowocześnienia sposobów nielegalnego pozyskiwania materiałów jądrowych. System weryfikacji powinien być stale rozwijany i powinien wykorzystywać najnowocześniejsze dostępne metody, nawet takie, które są przedmiotem badań niepowiązanych z techniką jądrową. Głównym celem nowego podejścia do realizacji zadań systemu zabezpieczeń jest wczesne uzyskanie informacji o możliwości powstania niedeklarowanych obiektów jądrowych, działań lub używania niedeklarowanych materiałów jądrowych. Jest to ważne w działaniach związanych

ze wzbogacaniem oraz przerobem wypalonego paliwa, oraz innych działaniach związanych z energetyką jądrową. Prowadzenie systemu niezapowiadanych inspekcji powiązanych z dodatkowym dostępem do wybranych etapów procesu przetwarzania materiałów jądrowych powinno być wspomagane nowoczesną aparaturą pomiarową wykrywającą i mierzącą szerszy zestaw izotopów np. tryt, izotopy berylu, neptunu, ameryku. Przewidywana jest dokładniejsza kontrola procesów powiązanych z materiałami jądrowymi w różnej postaci fizycznej proszków, roztworów, gazów itd.

Okres przygotowania nowej aparatury pomiarowej wymaga rozległych badań nad przydatnością nowej metody, jej niezawodnością, dokładnością i powtarzalnością pomiarów. Większość powstających nowych opracowań jest nową ulepszoną wersją już istniejących i sprawdzonych rozwiązań. Modyfikacja polega na dodaniu nowej generacji elektroniki lub wykorzystaniu nowszych technologii. Prowadzone są np. badania wykorzystania w kamerach systemów obserwacyjnych inteligentnych czujników opracowanych do celów militarnych integrujących różne metody analizy obrazów.

Ważnym parametrem weryfikacyjnym jest określenie zawartości plutonu w wypalonym paliwie. W nowo powstającym przyrządzie wykorzystane do tego celu będzie samorzutne promieniowanie neutronowe kiuru wzbudzające neutrony plutonu, których ilość informuje o zawartości plutonu w badanym materiale. Rozbudowana metoda pomiaru zwiększa jego dokładność.

Projektowana jest budowa przenośnych przyrządów laserowych do identyfikacji pojemników w zakładach wzbogacania, detektorów do wykrywania glinowodoru w powietrzu w przyrządach naziemnych lub lotniczych. Przyrząd zapewnia szybką identyfikację gazu i pomiar o wysokiej dokładności. Czułość przyrządu jest poniżej 0,1 ppb (części na miliard).

W miejscach stosowania systemów plombowania sprawdzana jest nienaruszalność stanu plombowanej obudowy. Ważnym elementem jest kontrola spawanych spoin. Nowsza wersja stosowanej metody to wprowadzanie odbłaskowych znaczników nakładanych na spoinę za pomocą specjalnego nieusuwalnego kleju. Próba jego usunięcia będzie widoczna. Metoda polega na porównywaniu zdjęć z chwili zakładania plomby ze zdjęciem wykonanym w czasie kontroli.

W wielu systemach plombowania ważne elementy są rozmieszczone w różnych miejscach obiektu. Opracowano radiowy system łączności pomiędzy elektronicznymi plombami i centralną jednostką zbierającą informacje. Jednostka centralna może być zdalnie połączona z centralą MAEA. Pozwala to sprawdzać indywidualnie poszczególne zaplombowane obszary.

Dużo uwagi poświęcono pomiarom UF_6 , opracowując nowe wersje jego pomiarów spektrometrycznych. Istnieje wiele prototypowych urządzeń wykorzystujących różne techniki (laserowe, magnetyczne) pozwalające mierzyć różne parametry gazu. Prowadzone są liczne prace mające na celu opracowanie technik bezpośredniej weryfikacji plutonu w wypalonym paliwie. W większości używane są zmodyfikowane liczniki koincydencji ^3He specjalnie przystosowane do rozróżniania neutronów w zależności od ich energii oraz umożliwiającą analizę czasu koincydencji neutronów.

Jedną z najnowszych opracowywanych metod pomiaru mocy reaktora, wypalania paliwa jest detekcja antyneutrin. Antyneutrina są wytwarzane w reaktorach jądrowych w czasie reakcji rozszczepienia uranu i plutonu. W wyniku kolejnych reakcji generowane są błyski światła wykrywalne przez scyntylatory. Pomiaru mogą być prowadzone w znacznej odległości od reaktora poza jego osłoną biologiczną. Zastosowanie tej metody badania pracy reaktora ogranicza narażenie inspektorów na promieniowanie.

W celu wykrywania nielegalnego przetwarzania (np. powtórnego) materiałów jądrowych przeprowadzana jest analiza gazów uwalnianych do atmosfery i powstałych w czasie procesów jądrowych. Próbkowanie dokonywane jest bezpośrednio w obiekcie lub w pobliżu w analogiczny sposób jak pobieranie próbek materiału jądrowego. Technika pobierania próbek wykorzystuje również urządzenia do absorpcji kriogenicznej w celu zwiększenia załadowania gazów szlachetnych. Badania mają na celu identyfikację podjętych nieuprawnionych działań poprzez śledzenie ^{86}Kr wskazującego na czynności przetwarzania określanych za pomocą symulacji komputerowych z uwzględnieniem warunków pogodowych, zmian globalnych stężenia Kr w atmosferze itd. Pobrane próbki są badane w spektrometrze masowym.

Wykorzystywane są również przyrządy umożliwiające zdalne wykrywanie charakterystycznych związków gazowych pochodzących z procesów jądrowych. Zasada ich działania opiera się na teledetekcji optycznej wykrywania światła i oceny odległości. Laser wysyła fale świetlne o znanej długości i selektywnie stymuluje cząsteczki w powietrzu. Światłoczuły teleskop skanuje atmosferę, wykrywając obecność stymulowanych cząsteczek. Analiza sygnałów umożliwia określenie stężenia gazu. Metoda ta jest szczególnie użyteczna do badania trudno dostępnych punktów spodziewanej emisji gazów.

Do wykrywania tlenków uranu i toru (U_3O_8 , UO_2 , UO_3 , ThO_2) w mieszaninach przewidywana jest technika spektroskopowa.

W przewidywanych podziemnych komorach składowania wypalonego paliwa, jak i składowiskach średnio

i wysoko-aktywnych odpadów przewiduje się wprowadzenie i rejestrowanie mikro wstrząsów geologicznych. Ma to na celu wykrycie wszelkich nieprawidłowości, mogących wskazywać na nieautoryzowane zmiany projektu i naruszenia bezpieczeństwa w końcowych magazynach jądrowych, umożliwiające dostęp do pojemników z materiałami jądrowymi. Przewiduje się również zainstalowanie systemów zdalnego sterowania. Układ czujników powinien eliminować mikro wstrząsy naturalne.

Do wykrywania i analizy nieznanymi materiałami wykorzystywana jest spektroskopia rozproszona wywołana laserem. Dobrze zogniskowany laser pulsacyjny tworzy na powierzchni próbki mikroplazmę. Widmo analizowane jest za pomocą zintegrowanego spektrometru. Uzyskane widmo umożliwia identyfikację materiału. Przyrząd może być również wykorzystany do obserwacji procesów przepływu materiałów oraz analizy materiałów i osadów w komorach rękawicowych (*glove box*) i gorących (*hot cell*) bez konieczności fizycznego wyjmowania próbek. Przyrząd może być używany do wstępnej selekcji próbek środowiskowych.

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

Literatura:

- [1] J. Kaniewski, W. Kielbasa, Ł. Koszuk, A. Kuczynski, M. Rabiński, K. Rzymkowski, Ad. Strupczewski, A. Strupczewski, Leksykon angielsko-polski energetyki jądrowej, Ministerstwo Energii, Warszawa (2016)
- [2] Safeguards techniques and equipment: 2011 edition, International Nuclear Verification Series No. 1 (Rev2), IAEA Vienna 2011
- [3] Safeguards techniques and equipment: 2003 edition, International Nuclear Verification Series No. 1 (Rev 1), IAEA Vienna 2003
- [4] <https://www.scribd.com/document/89237038/Pomiary-jadrowe>
- [5] M. Moeslinger, C. Liguori, International Atomic Energy Agency, Austria G. Neumann, S. Lange, Dr. Neumann Elektronik GmbH, Germany M. Stein, Canberra, USA S. Pepper, Brookhaven National Laboratory, USA B. Richter, Forschungszentrum Juelich, Germany K. Schoop, European Commission, Luxembourg, The IAEA's XCAM next generation surveillance system, IAEA-CN-184/260
- [6] Safeguards implementation practices guide on provision of information to the IAEA IAEA Services Series No. 33, IAEA Vienna 2016
- [7] Rzymkowski Krzysztof, Kontrola materiałów jądrowych PTJ 2-2011 Vol. 54 X. 2
- [8] Rzymkowski Krzysztof, Realizacja postanowień Traktatu o nie Rozpowszechnianiu Broni Jądrowej – weryfikacja materiałów jądrowych BJOR PAA Nr 4(94)/2013, Warszawa
- [9] Rzymkowski Krzysztof, Metody weryfikacji materiałów jądrowych, BJOR PAA Nr 3(113)/2018

MARIA SKŁODOWSKA-CURIE – SUPLEMENT BIOGRAFII

Maria Skłodowska-Curie – biography supplement

Tomasz Goworek

Streszczenie: W artykule poniżej można wyróżnić dwa tematy: Pierwszy to próba innego spojrzenia na znane fakty z jej biografii:

- starania o członkostwo Akademii Nauk (nie antyfeminizm, a raczej ksenofobia),
- francuska wojskowa służba radiologiczna (poziom techniczny a zastosowania praktyczne),
- cena radu (rola rynku).

Drugi temat to przedstawienie nieznanych lub mało znanych, faktów z życiorysu Marii:

- jej praca we Włoszech w 1918 r. w poszukiwaniach złóż rud uranu i oznaczaniu zawartości radonu w źródłach wód mineralnych,
- podróż do Brazylii,
- mniej znane fakty z życia jej przodków (dziadkowie, stryj Zdzisław).

Abstract: In the paper below one can distinguish two subjects. First is an attempt of another viewpoint in the well known events in the biography of Maria Skłodowska-Curie:

- her attempts to enter the Academy of Science (not antifeminism but xenophobia),
- French military radiology (technical level and practical application),
- the price of radium (variation with time).

Other subject is presentation of some unknown or less known facts from Maria biography:

- her work in Italy in 1918 in searching the uranium ore and determining of radon content in mineral waters,
- her trip to Brasil,
- her ancestry (grandparents, uncle Zdzisław).

Słowa kluczowe: Maria Skłodowska-Curie, Akademia Nauk, Włochy 1918, cena radu, Brazylia, radiologia wojskowa, przodkowie.

Keywords: Maria Skłodowska-Curie, Academy of Science, Italy 1918, price of radium, Brasil, military radiology, ancestors.

W Lublinie, przy ul. Narutowicza 12 znajduje się budynek wystawiony w roku 1859 staraniem Józefa Skłodowskiego, dziadka Marii Skłodowskiej-Curie. Obecnie siedziba Wydziału Pedagogiki Uniwersytetu imienia jego wnuczki, zbudowana została dla Gimnazjum Gubernialnego, którego Skłodowski był dyrektorem. Szkołę wyposażono znakomicie – były tu pracownie ćwiczeń dla uczniów z fizyki, chemii, mineralogii, biblioteka szkolna liczyła 10 000 tomów, w tym mapy i starodruki z XVI i XVII wieku (była to jednocześnie pierwsza czytelnia publiczna w Lublinie).



Fot. 1. Stary budynek Gimnazjum Gubernialnego w Lublinie, przy ul. Jezuickiej 13, którego dyrektorem był Józef Skłodowski (fot. Tomasz Goworek)

Photo 1 Old building of High School (Gimnazjum) in Lublin. Maria Skłodowska grandfather, Józef Skłodowski was its director

Do czasu wystawienia tego budynku szkoła mieściła się na Starym Mieście, przy ul. Jezuickiej 13, tu mieszkał też dyrektor. Wśród absolwentów byli: Aleksander Głowacki (Bolesław Prus), Tadeusz Gałęcki (Andrzej Strug), Aleksander Świętochowski, Julian Ochowicz (prawdopodobnie Ochockiego z „Lalki”). We wspomnieniach absolwentów, jakie wydano w Lublinie w 1923 r., R. Przeglądowski napisał „Skłodowski godzien pomnika, jako wzór kierownika szkoły średniej – dla którego młodzież miała cześć i miłość bałwochwalczą niemal”. Nieco inaczej zapamiętał go Bolesław Prus; w 1911 r. wspominał w „Tygodniku Ilustrowanym”: „staruszek gęsto sadzał mnie do kozy, chociaż trudno wymienić pedagoga, któryby w sposób równie poufały nie traktował mojej godności osobistej”.

Skłodowski w Lublinie, krewniacy w Zawieprzycach, Opolu Lubelskim, Puławach, ale rodzinne Skłody leżały daleko na północ, na pograniczu Podlasia i Mazowsza. Skłodowscy należeli do tamtejszej szlachty zagrodowej, rozsiadłej po okolicznych wioskach. Dla odróżnienia poszczególnych gałęzi rodu posługiwano się przydomkami: Paluch, Biskup, Fonfara, Balcer, Marczak. Józef należał do Paluchów (zatem: panna Skłodowska-Paluch).



Fot. 2. Tablica pamiątkowa z portretem Józefa Skłodowskiego u wejścia do budynku Gimnazjum wystawionego jego staraniem w Lublinie, ul Narutowicza 12 (fot. Archiwum UMCS)

Photo 2. The memorial plate with portrait of Józef Skłodowski at the entrance to the school building erected by him in Lublin

Z początkiem XIX wieku było widać, że gospodarzenie na drobnych zagonkach nie ma przyszłości, tę zapewnić może wykształcenie. Hreczkosieje zamieniali się w inteligencję. Majątek Urbana, ojca Józefa, przeszedł w ręce Skłodowskich-Biskupów, Józef udał się na studia przyrodnicze na Uniwersytecie Warszawskim. Ukończył je w roku 1828 i rozpoczął pracę jako nauczyciel w Białej Podlaskiej, kontynuował w Warszawie, na Muranowie. Wybuchło Powstanie Listopadowe, Józef natychmiast stawiał się na ochotnika do Pułku Strzelców Pieszych, brał udział w bitwie pod Iganiami; pod Olszynką Grochowską pozostawał tylko w odwodzie, gdyż uznano, że jego wykształcenie wojskowe jest niewystarczające. Powstanie upadło, Józef dostał się do niewoli. Był pędzony przez Kozaków sto kilometrów, do Warszawy dotarł wyczerpany i pokaleczony.

Miał Skłodowski narzeczoną, Salomeę Sagtyńską. Rodzina Sagtyńskich, podobno pochodzenia ormiańskiego, mieszkała na Bukowinie, Salomea urodziła się w Czerniowcach. Bukowina leżała u rubieży Rzeczypospolitej, należała do gospodarstwa mołdawskiego pod panowaniem tureckim, a w XVIII wieku została odstąpiona Austrii (weszła w skład Galicji). Na początku XIX wieku rodzice Salomei, Aleksander i Julianna z Michałowskich, przenieśli się do centralnej Polski, kupili majątek Radlin pod Kielcami.

Na drodze do małżeństwa Józefa i Salomei stała poważna przeszkoda: starszy brat Salomei, Adam, był szefem wywiadu zagranicznego Imperium Rosyjskiego... Nie tylko szefem, ale twórcą, organizatorem. Może się wydawać dziwne, ale do końca XVIII wieku Rosja nie miała regularnej służby wywiadowczej. Okazyjnie zwracano się do kupców,

podróżników o jakieś usługi, interesowano się głównie kierunkiem tureckim. Adam Sagtyński znał biegle turecki, rozpoczął karierę jako tłumacz w ambasadzie rosyjskiej w Stambule. Gdy rodzina przeniosła się do Polski, Adam świadczył usługi W. Ks. Konstantemu, rozpoczął organizację czegoś w rodzaju wywiadu Kongresówki na terenie Austrii i Prus (czyli pozostałych dwóch zaborców). Powstanie zakończyło tę działalność Sagtyńskiego. Pozostał on wierny Konstantemu, choć nie uciekł razem z nim, został nawet uwięziony przez powstańców, potem odbity przez oddział rosyjski. Doświadczenia z pracy w Turcji, następnie w Saksonii, w końcu w Kongresówce spowodowały, że powierzono mu organizację wywiadu zagranicznego Rosji. Tym razem głównym kierunkiem zainteresowań była Francja, z powodu pojawienia się tam emigracji rosyjskiej. Policja, żandarmeria i tworzący się wywiad podlegały Trzeciemu Oddziałowi Kancelarii Osobistej cara, kierowanemu przez hr. von Benckendorfa.

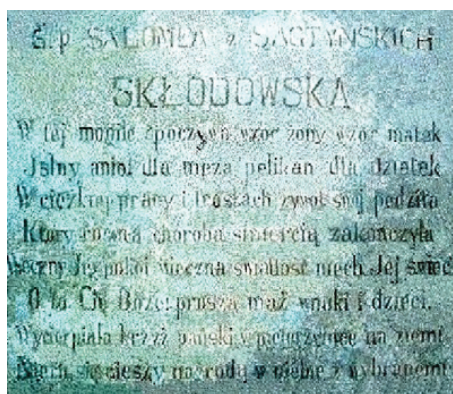
Adam Sagtyński, czynownik IV rangi do zadań specjalnych w carskiej kancelarii osobistej, nie mógł mieć szwagra buntownika. Zatem trzeba było zatrzeć w dokumentach kompromitujące informacje o Józefie Skłodowskim. Jak to na Wschodzie, wszystko da się załatwić, arkusz osobowy Skłodowskiego wymieniono, wpisano, że żadnego udziału w powstaniu nie brał, nieprzerwanie pracując w szkole na Muranowie. Zapisu tego dokonano w styczniu 1832 r. i już 5 lutego tegoż roku odbył się ślub Józefa i Salomei, świadkiem na ślubie był sam Adam Sagtyński. Odstąpił on zresztą młodej parze swoje mieszkanie w Warszawie na Krakowskim Przedmieściu 408 (Salomea przed ślubem mieszkała tam, u brata), sam udał się do pracy w Petersburgu, zabierając ze sobą dwie siostry, które w stolicy prowadziły mu gospodarstwo domowe. Był chyba niezłym dziwakiem, starym kawalerem, siostry też nie wyszły za mąż (jedna z nich, Józefa, była niewidoma). Kierował wywiadem rosyjskim przez 24 lata, zmarł w 1866 r. O swej pracy wyrażał się dość szczerze; powiedział kiedyś do Aleksandra Hercena, aby w towarzystwie uważał na słowa, bo nie może ręczyć, czy któryś z jego rozmówców nie przybiegnie zaraz z donosem. Podobno w Trzecim Oddziale był zwyczaj, że honoraria za informacje zaczynały się od cyfry „3”, na pamiątkę 30 srebrników... (renta Józefa po bracie też wyniosła 300 rubli). Benckendorf miał specyficzne zdanie o swych podwładnych.

Adam Aleksandrowicz, kawaler orderu Św. Anny I klasy z koroną, odbywał liczne podróże zagraniczne, odwiedzając swoich agentów w różnych krajach jak: Francja, Niemcy, Belgia. Włochy nie były jeszcze zjednoczone, więc był rezydent i w Turynie (Piemont) i w Palermo (Królestwo Obojga Sycylii). W roku 1851 Adam był w Anglii na bankiecie z okazji urodzin królowej Wiktorii. „London Morning Chronicle” opublikował listę gości: książęta, lordowie, hrabiowie, markizowie, i wśród nich „Mr. A. Sagtynski” – polska szlachta tytułów nie miała.

Tak więc z Sagtyńskich w Polsce pozostała tylko babcia Salomea. Wędrowała wraz z mężem po kraju, bo Józef był niespokojnym duchem i w ciągu życia zmieniał miejsce pracy lub zamieszkania 15 razy. W Warszawie miejsca nie zagrażał, wyniosło go aż na Litwę, do Mariampola (w czasach radzieckich przemianowanego na Kapuskas), dwa lata spędził w Kielcach, sześć lat w Łomży, cztery lata był inspektorem szkolnym w Łukowie, sześć lat nauczycielem i dyrektorem gimnazjum w Siedlcach, najdłużej zabawiał w Lublinie – 12 lat. Mimo tak wielu lat pracy w oświacie, w miastach, pozostał w nim sentyment do życia sielskiego. Na emeryturze wrócił do zarządzania majątkami ziemskimi. Zamieszkał u stryjecznego brata, Ksawerego Skłodowskiego, w Zawieprzycach k. Lublina, a następnie znów wędrował, obejmując dzierżawę kolejnych majątków ziemskich arendowanych dotąd przez Ksawerego: Jawidz blisko Lublina, potem dzierżawił Puchały, sześć lat spędził w Czyżewie w rodzinnych stronach koło Wysokiego Mazowieckiego. Trochę odetchnął, wypoczywając od 1870 r. u córki Wisławy (po mężu Felauer) w Rakoszynie, ale zaraz objął Radlin, jeszcze dokupił 30 mórg gruntu. Znany ludziom w okolicy został w końcu wójtem w gminie Piekoszów.

W grudniu 1881 r. babcia Salomea przeziębila się w drodze na Pasterkę, dostała zapalenia płuc i wkrótce zmarła. Pochowano ją w Leszczynach koło Kielc¹; na płycie nagrobnej wykuto wiersz zaczynający się od słów:

*„w tej mogile spoczywa wzór żony wzór matek,
istny anioł dla męża, pelikan dla dzieci...”*



Fot. 3. Grób Salomei Skłodowskiej w Leszczynach k/Kielc – przed odnowieniem; (fot. Jacek Skrzypczak, fragment)

Photo 3. The grave of Salomea Skłodowska (before restoration)

Po śmierci Salomei Józef rzucił gospodarstwo, które przejął Franciszek Rój, wrócił do Ksawerego, gdzie po pół roku zmarł, pochowano go w pobliskich Kijanach.

Salomea urodziła siedmioro dzieci, wszystkie otrzymały swoje imiona: Zdzisław, Przemysław, Władysław, Bolesława, Bronisława, Wisława, Wanda (ironia losu: córki lub wnuczki nosiły po mężach nazwiska: Hindemith,

Felauer, Curie, Szalay, Szancenbach...). Córki otrzymały wykształcenie typowe dla epoki: najstarsza, Bolesława, została wysłana do Petersburga do „Instytutu Błagородnych Diewic”, młodsze do Aleksandryjskiego Instytutu dla Panien w Puławach. Kariera synów była zakłócona – przyszła pora na kolejne powstanie, Styczniowe. Zdzisław, już po studiach prawniczych w Petersburgu, przybrał nazwisko „Miecznikowski” i brał walny udział w bojach, dwukrotnie prowadził szarżę kawalerii na oddziały rosyjskie, został adiutantem Borelowskiego, był dwukrotnie ranny. Przemysław, przed powstaniem zarządcą majątku w Szczekarkowie koło Lubartowa, został ciężko ranny w walkach pod Łukowem; po powstaniu zamieszkał w Warszawie u brata, Władysława. Zmarł rok później, nie z ran, a na gruźlicę. Jest prawdopodobne, że od domownika z zaawansowaną gruźlicą zaraziła się żona Władysława, Bronisława z domu Boguska. Wyjazdy „do wód”, do Bad Salzbrenn (dziś Szczawno-Zdrój), na rok do Nicei, niewiele pomogły – zmarła w 1878 r., w wieku 42 lat.



Fot. 4. Portret Władysława i Bronisławy Skłodowskich, rodziców Marii (zbiory Piotra Chrzęstowskiego, via Bibl. Gł. AGH)

Photo 4. Maria Skłodowska-Curie parents: Władysław and Bronisława Skłodowski

Władysław pozostał trochę obojętny na zew ojczyzny, wyjątek w rodzinie. Przecież nawet jego siostra Bolesława była kurierem powstańczym, sanitariuszką, co więcej, gdy Walerian Wróblewski, naczelnik okręgu grodzieńskiego, ukrywał się ranny we dworku Ksawerego Skłodowskiego, Bolesława przewiozła go w przebraniu kobiecym przez granicę, do Galicji (stamtąd trafił do Francji i do Komuny Paryskiej). Władysław był intelektualistą, nie tylko uczył „nauk przyrodzonych” w szkołach, ale tłumaczył Dickensa, Longfellowa, Turgeniewa, napisał podręcznik zoologii, opracował też 60 haseł do encyklopedii Orgelbranda. Dochował się pięciorga dzieci, najmłodsza córka, przyszła Madame Curie, otrzymała imiona po babkach – Maria, na drugie Salomea. Rodzicami chrzestnymi byli: Augustyn Szmurło, inspektor szkolny i żona Zdzisława Skłodowskiego, Maria (z domu Rogowska).

¹ Nagrobek odnowiono w r. 2019.



Fot. 5. Ewa Curie i prof. Józef Hurwic oglądają stolik z szachownicą z domu Marii (z zasobu Muzeum Marii Skłodowskiej, Warszawa)

Photo 5. Eve Curie and prof. Józef Hurwic watching the table with a chessboard from the home of Maria parents

W domu rodziców Marii, jak pisze się w biografiach, „skarbem rodzinnym” był stolik z blatem marmurowym, z intarsjowaną szachownicą z różnych kolorów marmuru, „przywieziony przez jednego z kuzynów z Palermo”. Adam Sagtyński był w Palermo w 1840 r., wizytował swoją agenturę. Pewnie on przysłał prezent siostrze i w spadku stół trafił do jej syna, Władysława². Kto jeszcze z mazowieckich hreczkosiejów mógł trafić na Sytylię i kogo byłoby stać na wysyłanie dookoła Europy upominku w postaci marmurowego stołu?



Fot. 6. Zdzisław Skłodowski jako powstaniec (fot. z książki A. Barowicza „Marcin Leleweł Borelowski”, dzięki uprzejmości Podkarpackiej Biblioteki Cyfrowej)

Photo 6. Zdzisław Skłodowski as an insurgent in 1863.

² Stolik znajduje się w zbiorach Muzeum Marii Skłodowskiej w Warszawie.

Zdzisław, po upadku Powstania Styczniowego, z tak zaszarganą u władz hipoteką, musiał zniknąć z kraju. Wyjechał do Francji, w roku 1865 uzyskał doktorat z prawa rzymskiego (prawa spadkowe dotyczące posagu) na uniwersytecie w Tuluzie. A jednak, mimo aktywnej powstańczej przeszłości, „staraniem rodziny” wrócił nieniekajony do kraju, co więcej, objął posadę wykładowcy w Szkole Głównej w Warszawie. Jakże to mogły być „starania rodziny”? Adam Sagtyński był już wtedy na emeryturze, ale pewnie rękę do abolicji siostrzeńca mógł jeszcze przyłożyć. W roku 1870 Zdzisław opuścił Warszawę. Píše się często, że zrezygnował ze Szkoły Głównej oburzony na jej rusyfikację. Natomiast bratanek jego, Józef zapisał, że stryj był świetnym wykładowcą, o ile mu się chciało do wykładu przygotować. Ale zdarzało się to rzadko i został z posady relegowany. Wyjechał do Skalbierza i tam został rejentem. Bez troski, wesoły, kobieciarz, hazardzista. Pewnego razu wygrał ogromną sumę pieniędzy; pani małżonka interweniowała: majątek uzyskany w małżeństwie jest wspólny, połowa wygranej należy do mnie. Za tę połowę pani Zdzisławowa kupiła fabrykę mebli w Kielcach i jeszcze starczyło na uruchomienie szkoły koronkarstwa dla dziewcząt (tę swoją połowę pan Zdzisław raczej przegrał). Maria z Rogowskich Skłodowska wyprzedzała epokę, była prawdziwą *business woman*, prowadziła interesy, ponadto lubiła zabawę, paliła papierosy. Atmosfera w domu była beztroska, na luzie. Susan Quinn, autorka świetnej biografii Marii Skłodowskiej, wiedząc o ucisku, o prześladowaniach w Kongresówce (wówczas już Priwislinskim Kraju), nie mogła sobie wyobrazić takiego beztroskiego życia pod berłem carów i w swej książce umieściła Skalbierz w Galicji... Pan rejent w wolnych chwilach organizował teatr amatorski, zajmował się tłumaczeniami, m.in. całkiem udatnie przełożył (wierszem) „Hamleta”³. Maria, bratanica gospodarza, chrześniaczka pani Zdzisławowej, spędziła w Skalbierzu zimę z 1883 na 1884 r. Styl matki chrzestnej spodobał się. Bale, kuligi! Pisała do siostry Broni: „*Jak kiedy bym poszła za mąż, to mi stryjenka wyprawi wesele, ale karkowskie, coś w rodzaju kuligu!*”

Mania Skłodowska była stworzeniem wesołym, lubiąącym zabawę, kawały. Kiedyś w przebraniu męskim wraz z siostrą Heleną udawały małżeństwo, które w podróży bryczką (Maria powoziła) zgubiło drogę i prosiło o nocleg w dworku. Na wakacjach u pana de Fleury koło Łomży, pod nieobecność jednego z domowników, z pomocą ogrodnika zawiesiły mu wszystkie meble, nie wyłączając żelaznego łóżka, na hakach wbitych w drewniany sufit, ściany ozdobiły bukietami z pokrzyw wstawionych do butów z cholewami. Równie wesołe były wakacje spędzone u wuja Władysława Boguskiego w Zwoli pod Koninem. Maria napisała do przyjaciółki Kazi Przyborowskiej: „*nie mogę uwierzyć, aby geometry-*

³ Monolog „Być albo nie być” w przekładzie Skłodowskiego jest w 6-tomowym wydaniu „Dzieł dramatycznych” Szekspira (PIW, 1972), tom 6, str. 959.

ja i algebra jeszcze istniały na świecie". Maria pasjonowała się jazdą konną, którą uprawiała podczas odwiedzin krewnego Ksawerego w Zawieprzycach, lub bratanicy dziadka Marii Tęczyńskiej w Łęcznej; jeździła konno w pożyczonym stroju męskim.

Dwie nieznośne panienki, tylko szukające okazji do psikusów. A gdy patrzy się na zdjęcia z okresu późniejszego, na żadnym ze znanych Maria się nie uśmiecha. Życie potoczyło się nie łatwo. Ojciec, Władysław Skłodowski, wdowiec, miał trzy córki na wydaniu i syna, którego należało wykształcić, a grosza w domu nie było. Pan Władysław pożyczył szwagrowi Władysławowi Boguskiemu ogromną sumę pieniędzy, 30 000 rubli⁴, na zakup na licytacji wspomnianego powyżej majątku Zwola. Pieniądze nigdy nie wróciły. Dziewczyny mogły liczyć tylko na siebie.

W 1884 siedemnastoletnia Maria próbowała znaleźć pracę w szkole żeńskiej pani Emilii Peck w Suchedniowie – bez powodzenia. Przyjęła propozycję posady guwernantki dzieci wuja w Zwoli. Pan na Zwoli prowadził bujne życie towarzyskie; podczas którejś balangi folwark Zwola poszedł z dymem. Maria napisała nawet wiersz, w którym jest fragment: „Gore, gore! Rozbawieni panowie [...] rozbiegli się po Zwoli, a budynki z pałacem palą się powoli”. Za to, co z majątku pozostało, Skłodowski kupił z Boguskimi jakiś młyn w Grzywaczu, który splajtował. Maryla (tak pisze o sobie w cytowanym wyżej wierszyku) wróciła do Warszawy, stosunki z krewnymi po matce zostały zamrożone. Gdy pytano Boguskich dlaczego nie kontaktują się ze Skłodowskimi, odpowiadali „bo oni są lewicowi”.



Fot. 7. Rodziny Skłodowskich i Dłuskich w Zakopanem, w studio fotograficznym. Stoją: Piotr Curie i Maria Skłodowska (po lewej), Bronisława Skłodowska i Kazimierz Dłuski (po prawej) (zbiory Piotra Chrzęstowskiego, via Bibl.Gł. AGH)

Photo 7. The families of Skłodowski and Dłuski in Zakopane. On the left: Maria Skłodowska-Curie and Pierre Curie, on the right: Bronisława Skłodowska and Kazimierz Dłuski

Maria została teraz guwernantką u obcych, siostry do-rabiała korepetycjami. W końcu starsza siostra, Bronisława,

rozpoczęła studia medyczne w Paryżu, Maria ze swych dochodów guwernantki coś odkładała, posyłała siostrze. Sama myślała raczej o zamęściu. Latem 1891 r. spotkała się w Zakopanem z Kazimierzem Żorawskim⁵. Gdy w latach 1886-1889 pracowała u p. Żorawskich zakochała się z wzajemnością w synu pracodawców, Kazimierzu, wówczas studencie. Z małżeństwa nic nie wyszło z powodu sprzeciwu jego rodziców – panna bez posagu? Spotkanie w Zakopanem zamiast odnowienia kontaktów przyniosło rozczarowanie. Szybka decyzja, Maria pisze do siostry: przyjeżdżam do Paryża! Bronisława już ukończyła studia, wyszła za mąż za Kazimierza Dłuskiego, rozpoczęli praktykę lekarską. Sytuacja Marii wydawała się dość korzystna – mogła zamieszkać u siostry. Tak się też stało, ale dom Dłuskich nie stwarzał najlepszych warunków do nauki. Był to nie dom, ale raczej salon polityczny, bywali tam często Ignacy Paderewski, Stanisław Wojciechowski, dr Danysz, inni goście. Sam Dłuski był aktywny w ruchu socjalistycznym. Nawet gdy nie było gości to, jak pisała Maria, „szwagierek miał zwyczaj przeszkadzać mi bez końca. Zupełnie nie mógł wytrzymać, że będąc w domu zajmuję się czymkolwiek innym jak miłe z nim gawędy”. Zdecydowała się zamieszkać samodzielnie. Za nędzne posiadane pieniądze wynajmuje kłitki na szóstym piętrze, na poddaszu haussmanowskich kamienic (zmienia je trzykrotnie), żywi się byle czym. Szybko uzyskuje licencjat z matematyki, licencjat z fizyki. Co dalej? Próby uzyskania pracy na Uniwersytecie Jagiellońskim i Lwowskim nie powiodły się. Ale wydaje się, że szczęście zaczyna sprzyjać. Staraniem, tym razem nie rodziny, a przyjaciółki, Jadwigi Dydyńskiej, otrzymuje stypendium Aleksandrowiczów, 600 rubli, które pozwalają na przyzwoite życie we Francji. Rozpoczyna nawet pracę naukową nad własnościami magnetycznymi stali pod kierunkiem Gabriela Lippmanna.

Przełom. Profesor politechniki we Fryburgu, Józef Wierusz-Kowalski⁶ (rodem z Puław), wybrał się z żoną w podróż poślubną do Paryża. Tam spotkali się m.in. z Marią Skłodowską – młoda pani Kowalska знаła Marię jeszcze z czasów pobytu na pensji w Warszawie. Profesor wpadł na pomysł zaaranżowania spotkania Marii z Piotrem Curie. Spotkanie miało na celu znalezienie lepszych warunków pracy naukowej dla Marii, zamieniło się w swaty, które zakończyły się sukcesem – od dnia 26 lipca 1895 r. Maria Skłodowska staje się panią Piotrową Curie (Madame Pierre Curie, tak podpisywała prace). Frederik Soddy, laureat Nobla z chemii (1921), powiedział, że największym odkryciem Piotra Curie była Maria Skłodowska.

⁵ Kazimierz Żorawski, matematyk, rektor UJ w latach 1917-1919. Skłodowska spotkała się z nim raz jeszcze, w 1932 r., podczas jej pobytu w Warszawie.

⁶ Asystentem Kowalskiego we Fryburgu był Ignacy Mościcki. Opracował on tam metodę otrzymywania kwasu azotowego z powietrza, dziś bardzo popularną. Zgłosił ją do opatentowania w Zurychu, ale pracownik urzędu patentowego, Albert Einstein, projekt odrzucił jako nierealny.

⁴ Dla porównania: roczna pensja dyrektora departamentu w carskich ministerstwach wynosiła 3000 rubli.

Ma teraz męża, dom, pracę. Dotąd zajmowała się własnościami magnetycznymi stali, zaś mąż był wybitnym specjalistą w dziedzinie magnetyzmu (prawo Curie dla paramagnetyków, punkt Curie dla ferromagnetyków.), naturalne wydawało się kontynuowanie tego kierunku badań. Tymczasem Maria zmieniła zainteresowania – zajęła się „promieniami uranowymi”. Odkryte przez Henri Becquerela promieniowanie podobne do rentgenowskiego, wysyłane przez związki uranu nie wzbudziło większego zainteresowania. Sam Becquerel w roku 1896 opublikował 6 komunikatów na ten temat, w 1897 r. dwa, w 1898 r. zrezygnował z dalszych badań tych promieni. W ostatnich latach XIX wieku nastąpił istny potop odkryć nowych nie widzianych promieni. Wysyłać je miał np. cukier, kreda, parafina, organiczny reten, robaczki świętojańskie, nawet ciało ludzkie. Wszystkie te odkrycia okazały się omyłkami czy oszustwami. Promienie uranowe Becquerela utonęły w powodzi pseudo – odkryć. Skąd więc pomysł zajęcia się tak nieciekawym zjawiskiem?

W Anglii, u Williama Thomsona (lorda Kelvina) zajmowano się przewodnictwem elektrycznym gazów. Gazy nie przewodzą prądu, chyba że pod wpływem czynników zewnętrznych – oświetlenia nadfioletem, promieniami Roentgena, w obecności płomienia, rozżarzonych metali itd. Natężenie prądu w gazie, jak stwierdzili tam Smoluchowski i Beattie, nie zależy od napięcia, a tylko od intensywności czynnika wywołującego przewodnictwo. Badając różne czynniki, próbowano użyć, z powodzeniem, promieni uranowych; sprowadzono z Francji, od Becquerela, próbki związków uranu. Natężenie prądu w gazach było bardzo małe, potrzebny był do jego pomiaru bardzo czuły elektrometr. Lord Kelvin dowiedział się, że urządzenie takie zbudował Piotr Curie, wykorzystując odkryte przez siebie (z bratem) zjawisko piezoelektryczne. Zamówił taki elektrometr, a Piotr przywiózł przyrząd do Glasgow osobiście, aby pokazać, jak się nim posługiwać. Obserwował więc na miejscu, czym się zespół Kelvina zajmuje, niewątpliwie opowiedział o tym żonie. Pani Skłodowska-Curie zauważyła, że natężenie prądu w gazie może być doskonałą ilościową miarą intensywności promieniowania wzbudzającego ten prąd. Dwie płytki, do których przyłożono napięcie 100 V, na jednej z nich rozprzyskła drobno sproszkowaną próbkę – dziś nazwano by komorą jonizacyjną. Maria postawiła pytanie, jakie *pierwiastki* lub *związki chemiczne* są odpowiedzialne za to promieniowanie. Określała natężenie promieniowania różnych związków uranu i stwierdziła, że jakkolwiek wziąć związek chemiczny natężenie promieniowania jest proporcjonalne do masy uranu (i toru, którego związki emitują podobne promieniowanie) zawartego w badanej próbce. „*Promieniowanie jest własnością atomu uranu*”. To ustalone przez nią prawo okazało się słuszne w przypadku związków uranu, wydawało się jednak, że zawiodło w przypadku minerałów. Ruda uranowa z Jáchymova w górach Rudawach (Czechy) wykazywała promieniowa-

nie dużo silniejsze, niż wynikałoby to z zawartości uranu. Maria sama zsyntetyzowała z czystych materiałów związki występujące w rudzie – natężenie było zgodne z jej regułą. Postulowała więc, że w rudzie oprócz uranu jest coś jeszcze, co silnie promieniuje. Inny, nieznan pierwiastek.

Prace Marii wzbudziły zainteresowanie, do tematu wrócił Becquerel, u J.J. Thomsona badania podjął Ernest Rutherford. Był on Nowozelandczykiem, który otrzymał stypendium umożliwiające pracę w Wielkiej Brytanii. Rutherford pasjonował się radiotechniką, chciał realizować swoje zainteresowania w Anglii, ale Thomson polecił mu zająć się promieniowaniem uranowym. Wobec oporu Rutherforda zagroził, że nie zwróci kosztów podróży z Nowej Zelandii do Anglii. Rutherford ustąpił (potrzebował grosza choćby aby pojechać jeszcze raz do Nowej Zelandii i ożenić się z Mary Georgine Newton). Tak powstał drugi ośrodek badań, najpierw w Anglii, potem w Montrealu w Kanadzie, dokąd przeniósł się Rutherford. Rutherford początkowo nie wierzył w nowy pierwiastek promieniotwórczy, uważał, że reguła ustalona przez Marię nie sprawdza się w tak złożonych strukturach, jak minerały. Musiała dostarczyć dowodów „namacalnych” – pierwiastek wyodrębnić w czystej postaci, podać jego własności itd. Co było dalej, wiedzą wszyscy: Maria wyodrębniła czysty rad, odkryła też inny pierwiastek promieniotwórczy – polon.

Rad, uran i inne pierwiastki promieniotwórcze są źródłem nieustannie emitowanej energii. Skąd ta energia się bierze – wysuwano najosobliwsze przypuszczenia. Może z kosmosu, może ze Słońca? Może jest pochłaniana z tych źródeł i potem re-emitowana w formie promieniowania? Skłodowska przeprowadziła test: jeżeli energia jest absorbowana ze Słońca, to powinno mniej jej docierać w nocy, gdy badany materiał promieniotwórczy jest przesłonięty przez całą kulę ziemską. Porównała natężenie promieniowania w dzień i w nocy – różnicy nie było. Zagadkę wyjaśnili dopiero Rutherford i Soddy: energia pochodzi z przemiany pierwiastka w inny podczas emisji promieniowania. Próbkę radu emituje promieniowanie przez setki lat, ale atom radu w tej próbce promieniuje raz i przestaje być radem. Odkrycie niestabilności pierwiastków promieniotwórczych było pewnym rozczarowaniem dla Marii – jej ukochany rad był tylko „etapem przejściowym” w historii uranu, kończącej się na stabilnym ołowiu.

Osiągnięcia naukowe przynoszą Marii sławę, popularność. Zdobywa nagrody, w 1903 r. wspólnie z Becquerelem i Piotrem – nagrodę Nobla. Są sukcesy. Czy nie pora się uśmiechnąć? Niestety, życie prywatne nie idzie w parze z naukowym. Tę nagrodę Nobla Piotr będzie mógł odebrać dopiero po dwóch latach. Maria poroniła, u Piotra zaczynają się problemy zdrowotne: bóle kręgosłupa, bóle nóg. Dochodzi do tego, że czasem nie jest w stanie się ubrać lub rozebrać sam. Wakacje 1905 r. spędzają państwo Curie nad morzem, razem z Heleną Skłodowską i jej córką. Z tarasu na Mont St. Michel oglądają

zaćmienie słońca, po czym Maria i Helena udają się do St. Malo i dalej na kolację do Dinard, ale same, dla Piotra byłby to zbyt duży wysiłek. Te problemy z poruszaniem się mogły stać się przyczyną tragedii, która wydarzyła się 19 kwietnia 1906 r. Piotr, wracając z redakcji „Comptes Rendus” do domu (na kolacji miał być Wierusz-Kowalski) wpadł pod konny wóz transportowy. Zginął na miejscu.

Los nie jest dla Marii zbyt łaskaw: gdy miała 9 lat, umarła jej siostra, w dwa lata później – umarła matka, po 11 latach małżeństwa ginie jej mąż. Cudzoziemka, wdowa z dwoma małymi córkami, decyduje się pozostać we Francji. Tu ma warunki do pracy. Środowisko naukowców – przyrodników jest pełne uznania dla jej osiągnięć naukowych, życzliwe. Żadnej mizoginii. Rada wydziału przyrodniczego Sorbony *jednomyslnie* powołuje ją 1 maja 1906 r. na katedrę fizyki, utworzoną wcześniej dla Piotra Curie. Staje się w ten sposób pierwszą w historii kobietą wykładowcą Sorbony. Gdy w roku 1910 w Akademii Nauk zwołano się miejsce po zmarłym chemiku Désiré Gernezie, sekretarz Akademii Jean Darboux nie wahał się zgłosić kandydaturę Marii Curie. Ale dla niektórych środowisk była to sensacja: kobieta do Akademii Nauk? Kobieta w ówczesnej Francji była istotą gorszego gatunku, nie tylko nie miała praw wyborczych, ale nawet nie mogła być świadkiem w sądzie. Drastycznym przykładem stosunku do kobiet może być zdarzenie z roku 1898, kiedy to podczas bazaru dobroczynnego z licznym udziałem arystokracji wybuchł pożar, zginęło 116 osób, w tym 110 kobiet – panowie sprawnie uciekli. Aby rozważyć kwestię uczestnictwa kobiet w Akademii, zwołano sesję Instytutu Francji. Instytut ten obejmował pięć akademii, w tym Akademię Nauk, przez co rozumiano się nauki ścisłe. Frekwencja była wyjątkowa, tłumy zainteresowanych, ktoś zemdlął. Kobiety na salę nie wpuszczono. Głosowano nad pytaniem sformułowanym trochę unikowo, eufemicznie: czy utrzymać tradycję? (bo przedtem w Akademii Nauk (Ścisłych) kobiet nie było).

Wynik nie był taki zły, jak na owe czasy: 85 głosów za „tradycją”, 60 przeciw, liczby dość podobne. Skąd głosy za tradycją? Członkowie Akademii Literatury i Akademii Sztuk Pięknych byli raczej przeciw bo dla nich to nie była tradycja, w ich składzie od dawna bywały kobiety, zatem za tradycją – głównie Akademia Nauk Moralnych i Politycznych. Zresztą zadecydowano, że wynik głosowania nie jest obowiązujący dla poszczególnych Akademii, więc droga dla pani Curie była otwarta. Problemy zaczęły się później. Na wakaty w Akademii Nauk (Ścisłych) zgłoszono kilkoro kandydatów, m.in. Marcela Brillouina (znane do dziś nazwisko – „strefy Brillouina”), na którego wykłady Maria uczęszczała nawet po ukończeniu studiów. Innym kandydatem był Edouard Branly, wynalazca koherera, tj. detektora fal elektromagnetycznych; autorzy „telegrafii bez drutu”, zarówno Marconi, jak i Popow, korzystali z kohererów dostarczonych im przez Branly’ego. Dla ścisłości dodajmy, że koherer, rurka z opiłkami żelaznymi i dwoma elektrodami, był znany już wcześniej,

wiadomo było, że jego przewodnictwo zmienia się pod wpływem różnych czynników zewnętrznych. Branly odkrył, że tym czynnikiem może być fala elektromagnetyczna.

Branly początkowo pracował na Sorbonie, ale przeniósł się do Instytutu Katolickiego, był też członkiem Papieskiej Akademii Nauk. Miał teraz za kontrkandydata nie tylko kobietę, ale i cudzoziemkę. Francja owego czasu była ksenofobiczna – trwały demonstracje przeciw napływowi cudzoziemców z południa (głównie Włochów). A jeszcze działali terroryści, w latach 1892-1894 było w Paryżu 11 zamachów bombowych, od ciosu noża zginął prezydent Republiki, Sadi Carnot. Dla prawicy wystawienie takiej osoby jak pani Curie *née Skłodowska* było nie tylko skandalem, ale wprost „intrygą żydowską i hugonocką”. „L’Action Française” zamieściła 24 stycznia 1911 r. artykuł na całą stronę gazetową: „Dreyfus contre Branly”. Nie ważne, że Dreyfus⁷ (oficer pochodzenia żydowskiego oskarżony o szpiegostwo) został zrehabilitowany już 6 lat wcześniej, odznaczony Legią Honorową, ale dla wielu pozostał zdrajcą (genetycznym). Artykuł zaczyna się od słów:

„Ależ tak... Dreyfus kontra Branly. Taka jest w istocie dziwaczna walka, jaka odbędzie się dziś w Akademii pod oszukańczą przykrywką Madame Curie contra Branly”

I dalej: „W oczach fanatycznego dreyfusarda Darboux, [...], fanatycznego dreyfusarda Poincaré, genialnego, jak mówią, matematyka, ale głupca i człowieka nienawistnego pod innymi względami, w oczach żyda od fotografii barwnej Lippmana, [...] opuszczenie Sorbony (przez Branly’ego- przyp. TG) i przejście do Instytutu Katolickiego – tak, panowie, ka-to-lic-kiego, stanowi podwójną i niewybaczalną zbrodnię”

Gustaw Tery w „L’Oeuvre” ironizuje: „Drży się na myśl, że gdyby ta nieszczęsna studentka nie przyjechała z Polski specjalnie, aby asystować przy odkryciu radu, nie byłoby wcale nauki francuskiej!”

Cudzoziemka, ba, Żydówka. „Mamy dowody, że jej ojciec jest przechrzczonym Żydem!” (L’Oeuvre). A na drugie imię ma Salomea – takie imię we Francji noszą tylko Żydówki! W wywiadzie dla „Le Temps” z 5 stycznia 1911 r. akademik A. d’Arsonval apeluje: „jest naszym obowiązkiem patriotycznym [...] wybrać Branly’ego”. Patriotyczny obowiązek został spełniony z trudem: wprawdzie konkurs wygrał Branly, ale Maria otrzymała tylko o dwa głosy mniej. „Zwycięstwo francuskie” ogłosił „L’Eclair”, „**Przegrana Dreyfusa!**” piszą w „Action Française”. Od tej chwili Maria przestała publikować swe komunikaty naukowe w „Comptes Rendus” – biuletynie Akademii Nauk.

Dodać warto, że antagonizm Curie-Branly był rozsiewany tylko przez sfery polityczne i prasę. Środowiska naukowe nie brały w tym udziału, w roku 1904 nagrodę Prix Osiris przyznano wspólnie pani Curie i Branly’emu – nie było problemu.

⁷ Historia Dreyfusa jest opisana w najnowszym filmie Polańskiego „J’accuse” (Biennale w Wenecji 2019; polski tytuł „Oficer i szpieg”)

Atmosfera wytworzona przez prasę była nie do zniesienia, za radą państwa Borelów Maria wyjechała wraz z nimi do Włoch, do Portofino, ale oceniła, że to miejsce też zbyt pełne gapiów i przeniosła się o cypel dalej, do Santa Margherita Ligure. Odpoczywała tam z Ewą i bratanicą Marią⁸, która już od roku mieszkała u ciotki w Paryżu, studiując malarstwo. Potem był wyjazd nad Lago Maggiore w Alpach, w końcu wyprawa do Polski, w Tatry.

Maria wraca do Francji – sytuacja nie jest lepsza: prasa wyśledziła romans z Paułem Langevinem. Znajomość państwa Curie z Langevinem ma długą historię: promotorem rozprawy doktorskiej Langevina był Piotr Curie, promotorem doktoratu Ireny Curie – Paul Langevin. Gdy Piotr ustalił doświadczalnie prawo dotyczące paramagnetyków, Langevin podał jego uzasadnienie teoretyczne; gdy zaś Piotr odkrył (wspólnie z bratem) zjawisko piezoelektryczne, Langevin wykorzystał je praktycznie do zbudowania głowicy sonaru (dzisiejsze USG opiera się na tej samej zasadzie). Wieloletnia wspólna praca naukowa, kontakty towarzyskie, zakończyły się romantyczną pointą. Niestety, Paul Langevin był żonaty, dzieciaty⁹. Prasa otrzymała nową pożywkę. „Afera Langevin-Curie” zataczała szerokie kręgi, od prasy bulwarowej po Kurję Arcybiskupią, która wydała instrukcję dla spowiedników jak taktować autorów różnych publikacji o aferze. Maria wyjechała na kongres solvayowski do Brukseli – prasa już doniosła, że pani Curie uciekła z Langevinem. Echo tej plotki dotarło i do Polski; warszawski „Kurier Świąteczny” zamieścił wierszyk (nawiązujący do kradzieży Mony Lizy, która zdarzyła się w tym samym czasie):

*„Wieść dobiegła do nas chyżą
depezmami wprost z Paryża:
„Lizę” skradły jakieś furie,
dziś znów znikła pani „Kurje”
i rzecz dziwna, widzieć mieli,
że Gioconda jest w Brukseli,
no i panią Curie pono
też w Brukseli znaleziono”*

Paul Langevin wynajął garsonierę na swoje nazwisko, co było dużym błędem. Według ówczesnego prawa francuskiego mąż mógł odpowiadać przed sądem za zdradę, jeżeli sprowadził kochankę do domu. Mieszkanie wynajęte na własne nazwisko mogło być uznane za „przybytek małżeński” (*domicile conjugal*). Później wynajmował je pod nazwiskiem „p. Crosnier”. Z garsoniery tej wykradziono korespondencję między kochankami. Znane dzienniki odmówiły druku kradzionych materiałów, ale zrobił to Gustaw Tery¹⁰ w swoim „L'Oeuvre”. Warto może wspomnieć, że podobna historia zdarzyła się trzy lata później: „Le Figa-

ro” opublikował wykradzione listy pani Henrietty Caillaux do żonatego kochanka, później zresztą, po jego rozwodzie, męża (i ministra). Pani Caillaux po prostu zastrzeliła redaktora naczelnego gazety. Została uniewinniona. Pani Curie, cudzoziemka, przełknęła zniewagę. Nie strzelała¹¹.

„L'Oeuvre” alarmował: „afera [Curie-Langevin – przyp. TG] ukazuje Francję w morderczym uścisku zgrai brudnych cudzoziemców”. I wtedy komitet nagród Nobla przyznał Marii po raz drugi nagrodę, tym razem z chemii. Wieści o aferze dotarły i do Sztokholmu. Przewodniczący komisji noblowskiej Svante Arrhenius napisał do pani Curie, że lepiej by było, gdyby nie przyjechała po odbiór nagrody. Arrhenius nie tyle był zgorszony aferą, ile obawiał się, że patrioci, urządzający demonstracje pod domem Skłodowskiej we Francji, mogliby przyjechać do Szwecji i zakłócić ceremonię, która już wówczas miała charakter bardzo podniosły, z udziałem króla i wielu innych dostojnych osób. Stąd w liście prośba „o pozostanie we Francji; nikt nie umie przewidzieć, co może się zdarzyć podczas wręczania nagrody”.

Francuski syndykat prasy zaapelował do czasopism, że w interesie Francji jest przerwać nagonkę. Ucichło. Maria osobiście odebrała nagrodę, kontakty z Paułem zredukowała do służbowych (a po latach wnuczka Marii Curie wyszła za mąż za wnuka Paula Langevin...). Paul Langevin był wybitnym uczonym, w życiu prywatnym... bywało rozmaicie. Nikt nie jest bez wad. Kolejny romans ze studentką (uczennicą?), dziewczyna zaszła w ciążę. Miała problemy ze znalezieniem pracy – Langevin poprosił Marię, czy nie mogłaby jej pomóc, dając zajęcie w swoim instytucie. Maria pomogła.

Afera Langevin-Curie wygasła, choć nie do końca. Jeszcze w czasie wizyty w Brazylii trzeba było zmienić nieco plan spotkań z powodu protestów par doktorowych i profesorowych. Jakies echa wracają czasem w dość niespodziewanej formie – może to tylko przypadek, ale po stu latach w nagłówku cyfrowego archiwum francuskiego czasopiśma naukowego „Journal de Physique” obok tytułu pisma są portrety dwóch osób: Marii Curie i Paula Langevin.

Wybuchła I wojna światowa. Pani Curie postanowiła włączyć się w organizację sieci ruchomych ambulansów rentgenowskich, które mogłyby być używane w szpitalach polowych bezpośrednio na zapleczu frontu. Zrobiła prawo jazdy i niekiedy sama prowadziła ambulans po przyfrontowych wertepach. Jest zastanawiające, że w czasie tak krwawego konfliktu armia francuska nieprzesadnie dbała o tego rodzaju służbę. Przecież już w roku 1898, w trzy lata po odkryciu promieni Roentgena, Winston Churchill raportował z Indii, że armia angielska ma tam ruchome stacje rentgenowskie („ruchome” mogło znaczyć zaprzęg konny, albo zgola dwóch tragarzy niosących aparat na drągu!). W 1898 r. wyposażono w pracownię rentgenowską pierwszy okręt wojenny – był to rosyjski krążownik „Aurora”. Polowe stacje

⁸ Maria Skłodowska, malarka, wyszła za mąż za lekarza, Jana Szanzenbacha, rozstrzelanego w Starobielsku. Polskie losy – jej bratanek, Jacek, zginął w Powstaniu Warszawskim.

⁹ Jedną z córek Paula Langevin, Héléne, była w 1943 r. deportowana przez Niemców do Auschwitz (przeżyła), jej mąż został rozstrzelany.

¹⁰ Gustaw Tery, tak aktywny w kampanii przeciw pani Curie, po kilku latach całkowicie zmienił front, po wybuchu wojny światowej stał się pacyfistą, mimo zakazu cenzury w owym „L'Oeuvre” drukował w odcinkach „Ogień” Barbusse’a, propagował ideę Ligi Narodów, w końcu udostępnił łamy „L'Oeuvre” organizacji Shin Fein walczącej o niepodległość Irlandii.

¹¹ Było kilka pojedynków w związku z tą aferą, ale nikomu nic się nie stało.

rentgenowskie były używane w wojnie grecko-tureckiej w 1911 r., w walkach z powstaniem mahdistów w Sudanie. Sprzęt taki miała armia niemiecka (ogółem 275 stacji) i austro-węgierska; jedną z polowych stacji rentgenowskich obsługiwała tam Lise Meitner, przyszła współodkrywczyńca rozszczepienia uranu. Francja wcale nie była tak zacofana w porównaniu do przeciwników; jeszcze przed wojną opracowano tam ambulanse radiologiczne, projektu Massiot na podwoziu Dietrich (Peugeot) i projektu Lesage na podwoziu Dion-Bouton. Były one wysyłane Grekom w 1911 r., używane przez armię francuską w czasie konfliktów kolonialnych, sprawdziły się w czasie manewrów. Trudno pojąć, dlaczego francuskie sfery wojskowe stawiały opór przeciw korzystaniu ze stacji rentgenowskich. Zaważyła tu doktryna wojenna generała (wkrótce marszałka) Focha, który uważał, że wojna będzie błyskawiczna, manewrowa i przy szybko zmieniającej się sytuacji sprzęt nieużyteczny w bezpośrednich działaniach bojowych byłby zawadą. Wojna okazała się wcale nie błyskawiczna, cztery lata trwało wzajemne wybijanie się i jakieś polowe punkty szpitalne i ambulanse rentgenowskie kursujące między nimi musiały powstać. A jednak, jak pisze Maria „w początkowym okresie wojny komendanci szpitali [...] niekiedy wprost odmawiali korzystania z ofiarowanej im pomocy”. Irena Curie, która też pracowała jako pielęgniarka-radiografka w szpitalu polowym, dodaje, że w roku 1916 „generał – inspektor wojskowej służby zdrowia [...] robił wszelkie możliwe trudności, gdy chodziło o stworzenie placówek rentgenowskich w strefie przyfrontowej”. Źródło niechęci wobec aktywności pani Curie mogło być całkiem prozaiczne: wojskowi nie znoszą, kiedy cywile wtrącają się do ich spraw; a tu nie dość, że cywil, to jeszcze kobita... Dziewiętnaście samochodów z aparaturą rentgenowską, przeważnie ofiarowanych przez osoby prywatne i przebudowanych według wskazań Marii, „les Petites Curie” jak je nazywano, w znacznym stopniu przyczyniło się do wykonania w warunkach frontowych miliona analiz.

Działalność Marii nie ograniczała się do organizacji służby rentgenowskiej. Na prośbę sztabu generalnego armii włoskiej udała się w czasie wojny do Włoch, gdzie od Alp po Neapol prowadziła poszukiwania złóż uranu i badała radioaktywność wód. W źródłach mineralnych często występuje radon, który był potrzebny w szpitalach polowych (zaszywano go w ampułkach w rany, co miało przyspieszać gojenie się). Maria wyjechała do Włoch sama, dopiero na dworcu w Pizie spotkała ekipę, która będzie jej towarzyszyła w badaniach. Byli to por. Camillo Porlezza (chemik), ppłk Alberto Peloux (mineralog), a także senator prof. Vito Volterra (matematyk)¹². Członkowie ekipy byli zaskoczeni gruntowną znajomością geologii przez Marię! Ekipa stwierdziła wyjątkowo silną radioaktywność wód na wyspie Ischia, nie tylko wód, ale i gleby, radon jest tam i w powietrzu. Ciekawe, że koloniści greccy już 2500 lat temu zażywali tu kąpiele leczni-

czych, kopali nawet sztuczne jaskinie, w których inhalowali „lecznicze powietrze”. Niezwykle silnie promieniotwórcze źródło znalazła w Alpach Nadmorskich, w Nivolano.



Fot. 8. Maria Skłodowska-Curie w kamieniołomach Nivolano (dzięki uprzejmości prof. Annibale Mottana)

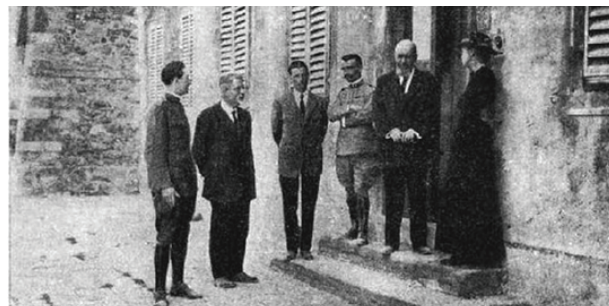
Photo 8. Maria Skłodowska-Curie in the quarry at Nivolano

Najwyższa aktywność wody w Polsce, w Kotlinie Kłodzkiej, nie przekracza 1500 Bq/litr, w Jachymowie w ujęciu wykorzystywanym w sanatoriach – około 6000, w Nivolano – 13 milionów! Trwała wojna, odwiedzała więc i szpitale polowe koło Padwy, używające ambulansów rentgenowskich. Podróż Marii po Włoszech w roku 1918 upamiętniają tablice: na wyspie Ischia, w Lurisia, w Montecatini.



Fot. 9. a) Mural na ulicy Madame Curie w Lurisia, poświęcony wizycie Marii Skłodowskiej-Curie w tej miejscowości; b) tablica pamiątkowa w zbliżeniu (dzięki uprzejmości Occupational Radiation Protection, Włochy)

Photo 13. The mural at Lurisia devoted to the visit of Maria Skłodowska-Curie there.



Fot. 10. Maria Skłodowska-Curie w Lardarello z ekipą włoską towarzyszącą jej w 1918 r. (dzięki uprzejmości prof. Annibale Mottana)

Photo 10. Maria Skłodowska-Curie in Lardarello with her Italian team in 1918.

¹² W roku 1940 jedna z gazet włoskich opublikowała zdjęcie Marii Curie z ekipą - ze zdjęcia wyretuszowano Volterrę – był Żydem. Dzięki pomocy Eugenio Pacellego (przyszłego Piusa XII) Volterze udało się wyemigrować do Stanów Zjednoczonych.

Ktokolwiek pisze o Marii Skłodowskiej-Curie, wymienia trzy zdarzenia z jej życia: odkrycie radu, próbę wstąpienia do Akademii Nauk i wyjazd do Stanów Zjednoczonych po gram radu zakupiony ze składki publicznej. W swoim laboratorium Maria miała około 1,3 g radu, wydzielonego własnoręcznie z rudy z Jachymowa. W roku 1921 w rozmowie z amerykańską dziennikarką, Marie Mattingly Meloney, Skłodowska przyznała, że radu ma tylko tyle. Zdziwiona dziennikarka zaaranżowała zbiórkę pieniędzy na zakup kolejnego grama. Po odbiór daru Maria z córkami udała się za Ocean.

Wydaje się to dość dziwne. Maria odkryła rad w 1898 r., a już w 1899 r. Friedrich Giesel (ur. w Wińsku na Dolnym Śląsku) udoskonalił technologię wydzielania radu i uruchomił produkcję na skalę handlową. Egon von Schweidler i Stephan Mayer bez problemu kupili u Giesela 2 g radu, a wkrótce potem sami uruchomili jego ekstrakcję. Co więcej, we Francji w roku 1904 Émile Armet de l'Isle uruchomił w swoich zakładach w Nogent-sur-Marne koło Paryża linię do ekstrakcji radu z odpadów blendy smolistej. Także w Jachymowie od roku 1912 działała wydzielająca rad z rudy „Radiovka”. Rad był drogi, ale osiągalny. W roku 1903 Ernest Rutherford, pracujący wówczas w Kanadzie, do badania własności promieniowania gamma kupił 0,7 g radu. Współpracownik Rutherforda, Frederick Soddy płacił Gieselowi po 8 szylingów za miligram bromku radu, to daje około 500 £ za gram czystego Ra. Funt był wtedy wart wiele, ale ta cena nie była czymś porażającym. Czy rzeczywiście Marii nie było stać na zakup? Skąd potrzeba aż zbiórki publicznej na 1 g dla pani Curie? Podane wyżej oszacowania ceny odnoszą się do pierwszych lat XX wieku. Wydawałoby się, że wraz z postępem technologii cena radu powinna spadać. Stało się odwrotnie, gdy tylko okazało się, że rad jest przydatny w medycynie. Ani Maria, ani Piotr Curie wspomniałomyślnie nie chcieli czerpać zysków ze swego odkrycia, zrobili to za nich inni – na radzie można dobrze zarobić. Zadziałała niewidzialna ręka rynku: pani Meloney na ten jeden gram musiała zebrać 100 000 dolarów.

Po wojnie głównym producentem radu stały się zakłady Union Minière de Haute Katanga w Oolen w Belgii, korzystające ze złóż uranowych w Kongo. Sprawa kosztów radu straciła dla pani Curie znaczenie, gdy zakłady w Oolen zaczęły jej „wypożyczać” rad: w roku 1923 1 g radu, w 1924 dalszy gram, w 1926 – 4 g, w 1932 – 6 g.

Podróż Marii do Stanów miała wielkie znaczenie, nie z powodu grama radu. Był to pochód tryumfalny wielkiej uczonej. Nie tylko spotykała się z Prezydentem Hardingiem, ale nawet mieszkała w Białym Domu. Była podejmowana przez liczne uczelnie amerykańskie, otrzymywała doktoraty honorowe, spotkała się z Edisonem, admirał Byrd przysłał jej depeszę gratulacyjną, przelatując nad Biegunem Południowym.

Przyszła sława. Zaslugi wojenne, rola radu w onkologii. Pani Curie staje się postacią znaną na całym świecie. W kwietniu 1921 r. w Operze Paryskiej odbywa się gala ku czci Pani Curie. Obecny jest premier Briand, ministrowie oświaty Bérard i wojny Barthou, sławna aktorka Sarah Bernhardt recytuje „Ode do pani Curie” Maurice’a Rostanda:

*Considerons, avec silence
cette qui sut donner au jour
un feu plus beau que l'existence
et plus dévorant que l'amour...*

*Spójrzmy w ciszy
na Tę, która pofrałła dać światu
ogień piękniejszy niż życie
i bardziej pożerający niż miłość*

(przekład M.R. Cichoń).

Liczne podróże po świecie. W 1926 r. udaje się razem z córką Ireną na sześć tygodni do Brazylii, gdzie jest przyjmowana entuzjastycznie. Nie tylko spotyka się ze środowiskiem naukowym i medycznym, ale wygłasza w radio w Rio de Janeiro cykl odczytów dla szerszych mas, w końcu jest zapraszana na wieczór artystyczny nawet do jednego z klubów piłkarskich. W wolnych chwilach Maria pływa w zatoce Guanabara, odwiedza wyspę Paquetá.

Z Rio udaje się do Sao Paulo. Zamierzała udać się tam wodnopławcem, ale czy jej wypersadowano, czy sama zmieniła zdanie i w końcu pojechała tam pociągiem (przygotowano dla niej specjalny wagon). Był rok 1926 i ledwie cztery lata wcześniej wykonano pierwszy przelot samolotem do Brazylii, etapami, wymieniając po drodze trzy samoloty. Na pomysł przelotu w tamtych czasach wpaść mogła chyba tylko pani Curie. W Sao Paulo wygłosiła cykl wykładów, spotkała się z gubernatorem stanu i innymi oficjelami, złożyła wizytę w Senacie, odwiedziła stację biologiczną Alto da Serra z prawdziwym lasem tropikalnym, oraz Instytut biomedyczny Butantã.

Następny etap podróży to uzdrowisko Aguas de Lindoya, bogate w źródła mineralne. Maria oznacza tam stężenie radonu i toru w wodach.¹³ W końcu wyjeżdża w głąb Brazylii, do Belo Horizonte, gdzie już działa Instytut Radowy dysponujący 0,3 g radu. Instytut ten uruchomiono w roku 1922 (dodajmy, że w Warszawie – w 1932 r., i to tylko część szpitalną...).

W ciągu całej podróży towarzyszyła Marii grupa pań z Federacji na rzecz Rozwoju Kobiet. Podróż, poza znaczeniem naukowym, stała się też wielką akcją na rzecz równouprawnienia kobiet. Federacja na zakończenie wizyty w Brazylii urządziła w teatrze „Casino” uroczystość na cześć Marii, z programem muzycznym i teatralnym. Tego samego dnia spotkanie pożegnalne urządziła ambasada... Czechosłowacji.

¹³ Wodę mineralną z Aguas de Lindoya mieli na pokładzie astronauty z Apollo 11.

Maria dwukrotnie wyjeżdżała do Stanów Zjednoczonych (po raz drugi w 1929 r.), w Europie podróżowała do Wielkiej Brytanii, Danii, Niemiec, Włoch, Czechosłowacji, oczywiście do Polski, nawet w ostatnich latach życia dwukrotnie odwiedziła republikańską Hiszpanię, dla której miała bardzo wiele sympatii. W roku 1933 w Madrycie przewodniczyła obradom na konferencji „Przyszłość kultury” zorganizowanej z inicjatywy Paula Valery.

Maria Skłodowska-Curie uzyskała sto trzy doktoraty honorowe wyższych uczelni całego świata. Dwudziestopięciolecie odkrycia radu było fetowane z rozmachem, na uroczystości w Sorbonie obecny był prezydent republiki Millerand. Maria otrzymuje liczne nagrody i medale: Medal Davy’ego¹⁴, Medal Mateucciego, Medal Elliott Cressona. To jedna strona tych medali. Druga – ich uzyskanie było okupione utratą zdrowia. Już w końcu 1911 r. Skłodowska poddaje się w Anglii poważnej operacji nerek; po zabiegu traci na wadze 10 kg. W 1920 r. lekarze stwierdzają początki zaćmy. Przechodzi cztery operacje oczu.



Fot. 11. Maria Skłodowska-Curie i prof. Vito Volterra. Maria jest po kolejnej operacji oczu. (dzięki uprzejmości prof Annibale Mottana)

Photo 11. Maria Skłodowska-Curie and prof. Vito Volterra (Maria is after the next surgery of eyes)

Po operacji w 1924 r. pisze do Ewy: „uczę się chodzić bez okularów i robię postępy. [...] Najbardziej mi przeszkadza, że widzę podwójnie i dlatego nie rozpoznaję ludzi. Codziennie ćwiczę czytanie i pisanie. Idzie mi to gorzej niż źle”. Lata powojenne to stałe ukrywanie stanu zdrowia. „Co do uszu, to dokucza mi szum prawie bezustanny, a przynajmniej bardzo częsty – nieraz bardzo silny”. W kontaktach z medycyną posługuje się nazwiskiem „pani

Carré”, hotele, pensjonaty wynajmuje dla niej siostra, na swoje nazwisko – Dłuska. W korespondencji z córkami, z siostrą, wspominając o zdrowiu, stale powtarza „Nie mów nikomu!”. Nadrabianie miną. Gdy w 1925 r. odwiedzała Czechosłowację, zaliczyła wycieczkę na górę Klinowiec w Rudawach, ale kolejna próba ukrycia słabości nie udała się – po zjeździe 500 m w dół w kopalni „Svornost” w Jachymowie, skąd kiedyś brała rudę uranową zawierającą rad, zasłabła i oprowadzający dyrektor kopalni Jan Auer musiał ją podtrzymywać, aby w ogóle mogła się poruszać. Już w 1921 r., podczas wizyty w Stanach podróżowała z osobistym lekarzem, E.H. Rogersem, stan zdrowia spowodował, że bogaty program wizyty musiał być skrócony. Nie mniej, jeszcze w roku 1931 brała udział w pierwszym kongresie fizyki jądrowej w Rzymie. O ile wcześniej ulubionym miejscem odpoczynku była Bretania, to od 1925 r. Maria spędza zimy nad cieplejszym morzem, w Cavalaire koło St. Tropez; ma tam małą willę z widokiem na morze na wzgórzu La Vigie¹⁵. Opiekuje się nią tam Ewa, czasem przyjeżdża Bronia, gdy ich nie ma – troszczy się o nią sąsiadka, pani Sallenave.

Mimo złego stanu zdrowia i absorbującej działalności naukowej i społecznej Maria znajduje czas na poznawanie świata. Zawsze interesowała ją turystyka. Jak powiedziała sama „przez całe życie nowe widoki natury cieszyły mnie jak dziecko”. W 1918 r. we Włoszech po badaniach źródeł radonu na wyspie Ischia w drodze powrotnej do Neapolu wstąpiła także na Capri, w Brazylii oglądała kopalnię złota w Morro Velho, zwiedzała dolinę Val do Paraíba, w której w owym czasie produkowano niemal połowę światowej produkcji kawy. W 1931 r. po kongresie w Toledo poprosiła, aby zawieźć ją 400 km samochodem do Granady, żeby zobaczyć Alhambrę. W Stanach Zjednoczonych wyprawiła się obejrzeć Kanion Colorado, Niagarę. Gdyby nie to zdrowie pewnie wybrałaby się nawet do Bieguna Północnego. W każdym bądź razie czyniła starania, aby przynajmniej któryś z jej współpracowników z Instytutu Radowego, wziął udział w wyprawie Amundsena sterowcem „Norge”, w celu badania aktywności naturalnej w Arktyce. Usilne starania (nawet za pośrednictwem prezydenta Czechosłowacji Masaryka) odniosły sukces, do wyprawy Amundsena Maria delegowała Františka Běhounek, co więcej, Běhounek wziął udział także w następnej wyprawie, Umberto Nobilego sterowcem „Italia”, zakończonej katastrofą. Běhounek przeżył, a niezrażony jeszcze potem wybrał się na Szpicbergen!¹⁶

¹⁴ Z medalem Davy’ego (przyznany w 1903 r.) związana jest nagroda 1000 £. W pierwszych latach XX wieku wystarczyłoby to na zakup 2 g radu.

¹⁵ Willa dziś nie istnieje. Maria zapisała ją córce, Ewie. Rząd Vichy pozbawił Ewę obywatelstwa francuskiego, willę zarekwirował. Kiedy dom rozebrano – nie udało się znaleźć danych. Starania, jakie na moją prośbę czynił dr Marek Pietrow na miejscu w La Vigie, nie przyniosły wyjaśnienia.

¹⁶ Běhounek założył praski Państwowy Instytut Radiologiczny, kierował nim w latach 1933-1945. Pisywał także powieści przygodowe, tłumaczone również na polski.



Fot. 12. Jak świat długi i szeroki: pomnik Marii Skłodowska-Curie w Misasa w Japonii; w tej miejscowości corocznie odbywa się „festiwal Curie” (foto Hiroko Tawara)

Photo 12. Throughout the world: the monument of Maria Skłodowska-Curie in Misasa (Japan). In that city a Festival Curie (Curie Matsuri) is arranged every year.



Fot. 13. Jak laureat Nobla widzi innego laureata Nobla. Rysunek Richarda Feynmana „Madame Curie observing the radation from radium”, ze zbiorów prof. DiAnn Ellis-Waskul z Uniwersytetu Palo Alto (dzięki uprzejmości Autora)

Photo 13. Drawing “Madame Curie observing the radiation from radium” by Richard Feynman, Nobel laureate 1966 (from the collection of prof. DiAnn Waskul-Ellis, Palo Alto University, by courtesy of Author)

Był sierpień 1930 r. Maria otrzymała wiadomość, że Kazimierz Dłuski, mąż Broni, jest ciężko chory. Píše do Ewy „Bronia sądzi, że można mu przedłużyć życie, złudzenie”. Mimo tej pesymistycznej oceny sytuacji przyjeżdża do Otwocka ze swoim lekarzem, Chartertonem. Niestety, jest to ostateczne spotkanie ze „szwagierkiem”, Dłuski umiera dwa tygodnie później, 9 września. Z Otwocka Maria udaje się do Lublina. Jedyny dowód jej bytności tam to wpis do księgi pamiątkowej w tzw. zakrystii akustycznej przy Katedrze Lubelskiej. Zakrystia ma sklepienie w formie elipsoidy dającej ciekawe zjawisko ogniskowania dźwięku, ale chyba nie po to wybrała się w długą podróż, żeby posłuchać echa, zwłaszcza, że nie przepadała za zwiedzaniem kościołów (w Pradze odmówiła wejścia do katedry Św. Wita na Hradczanach). Można się tylko domyślać, że dalszy ciąg mógł być sentymentalnym powrotem do stron młodości – do Gimnazjum postawionego przez dziadka w Lublinie, gdzie lubiła próbować doświadczeń w pracowniach szkolnych, do Zawieprzyc, gdzie jeszcze istniał majątek po Ksawerym Skłodowskim, do Łęcznej, gdzie uprawiało się jazdy konne...

Na tak licznych zdjęciach, jakie jej wykonano, Maria się nie uśmiecha. Może ta podróż była ostatnią okazją Maryli Skłodowskiej-Paluch uśmiechnąć się do wspomnień?

PODZIĘKOWANIA

Korzystałem z pomocy i informacji: prof. Annibale Mottana, prof. João Pedro Braga, dr Jana Kuriplacha, dr Sergieja W. Stepanowa, a także pracowników muzeów: dr J.F. Pires z CEMEMOR Universidade Federal de Minas Gerais, p. Anaïs Massiot i Natalie Pigeard z Musée Curie w Paryżu. Za okazaną pomoc – serdecznie dziękuję.

prof. Tomasz Goworek,
emerytowany profesor Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej,
Lublin

Literatura:

- [1] E. Curie „Maria Curie. Biografia” (1937).
- [2] S. Quinn „Życie Marii Curie” (1995).
- [3] F. Giroud „Maria Skłodowska-Curie” (1981).
- [4] J. Hurwic „Maria Skłodowska-Curie i promieniotwórczość” (1993).
- [5] H. Skłodowska-Szalay „Ze wspomnień o Marii Skłodowskiej-Curie” (1958).
- [6] T. Kaczorowska „Córka mazowieckich równin” (2011).
- [7] I. Joliot-Curie „Wspomnienia o Marii Skłodowskiej-Curie”
- [8] J. S. Jaworski, S. Bachanek „Polskie ślady Marii Skłodowskiej Curie”, Wyd. Muzeum MSC (2006).
- [9] H. Sadaj „Przodkowie i współcześni Marii Salomei Skłodowskiej” Roczniki Humanistyczne t.30, zeszyt 2 (1982).
- [10] I. Sadurski „Józef Skłodowski – nauczyciel, dyrektor i wychowawca...” Annales UMCS Sec. F, t.66, s.7-55 (2011).
- [11] R. Przeglądniński w: „Pamiętnik zjazdu b. wychowawców Szkół Lubelskich” s. 126-130 (1926).
- [12] P. Czerkasow „Tretij czelowiek w tretiem otdielenii” Rodina, No.9 (2007) s. 55-59.
- [13] „Specsluzhby Rossijskoy Imperii” w: <http://www.e-reading.link/chapter.php/1010016/60/Kolpakidi/>
- [14] A. Barowicz „Marcin »Lelewele« Borelowski. Rękodziełnik – pułkownik” (1913).
- [15] M. Tarkowski „Poglądy społeczno-polityczne Waleriana Wróblewskiego” Studia Prawno-ustrojowe” Nr.26, s.327-336 (2014).
- [16] S. Solimeo „Storia politica scienza. L’affaire Branly-Curie” (2012).
- [17] R. Mierzecki „Prasa polska w 1911 r. wobec Nagrody Nobla dla Marii Skłodowskiej-Curie”, Analecta, t.14, Nr.1-2, s. 185-204 (2005).
- [18] R. van Tiggelen “Radiology in a trench coat” (2013).
- [19] M. Burleigh “Święta Racja” (2011).
- [20] J. Ohech “Marie Curie-Sklodovská navštívila v roce 1925 Československo a také Jáchymov” (Univ. Karola w Pradze, prezentacja ppt).
- [21] E. Těšínská „Navštěva Marie Curieové v Československu v roce 1925” w: „Historie Medicina Cultura. Sborník k dějinám medicíny”, Red. K. Černý, P. Svobodný (2006) s. 163-188.
- [22] A. Mottana, P. Nastasi „Hunting for radium in Italy during the First World War: Marie Curie and Italian mineralogists and geologists” Rend. Online Soc. Geol. It. t.36, s.94-98 (2015)
- [23] C.K. Nascimento, J.P. Braga „Aspectos históricos da visita de Maria Sklodowska-Curie a Belo Horizonte” Quim. Nova t.34, No.10, s.1888-1891 (2011).
- [24] J.P. Braga, C.K. Nascimento „A visita de Maria Curie ao Brasil” (2015).
- [25] Prasa francuska z 1911 r., prasa brazylijska z r.1926



ANALIZA UCZESTNICTWA POLSKI W PROGRAMIE EURATOM-FISSION - PODSUMOWANIE

Jak podaje Krajowy Punkt Kontaktowy Programów Badawczych UE, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej zajmuje drugie miejsce (po NCBJ) wśród polskich organizacji najaktywniejszych w poszukiwaniu i pozyskiwaniu funduszy z programu *H2020 Euratom-Fission* (źródło: <http://www.kpk.gov.pl/wp-content/uploads/2019/02/Analiza-uczestnictwa-Polski-w-Programie-EURATOM-Fission-po-3-konkursach...pdf>, opublikowano 27 lutego 2019).

Euratom - Europejska Wspólnota Energii

Atomowej – jedna z trzech Wspólnot Europejskich, powstała na mocy traktatu z dnia 25 marca 1957 r.

Cele:

- pokojowa współpraca w dziedzinie rozwoju technologii jądrowych,
- tworzenie i szybki rozwój przemysłu nuklearnego,
- przyczynianie się do poprawy standardów życia w państwach członkowskich poprzez swobodny rozwój technik,
- przepływ specjalistów,
- zabezpieczenie transportu,
- rozwój badań,
- ustalanie jednolitych standardów i norm bezpieczeństwa ochrony radiologicznej.

(Traktat ustanawiający Europejską Wspólnotę Energii Atomowej – tekst polski eur-lex.europa.eu)

Od lat **Euratom** włącza się w strukturę unijnych programów ramowych w celu finansowania działań badawczych i szkoleniowych związanych z rozszczepieniem jądra atomowego i ochroną przed promieniowaniem jonizującym. Główne zagadnienia obecnego programu **Horizon 2020 Euratom-Fission** to systematyczna poprawa bezpieczeństwa technologii jądrowych, ochrona przed promieniowaniem i jego wykorzystanie w medycynie oraz odchodzenie od wykorzystania węgla jako źródła energii.

ICH TJ uczestniczy w sześciu projektach *H2020 Euratom-Fission*, z czego pięć realizowanych jest przez instytutowe **Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej**.

Główne kierunki rozwoju współczesnej radiochemii i chemii jądrowej na świecie wytyczone są dziś przez potrzeby energetyki jądrowej, która po latach zastoju przeżywa renesans spowodowany gwałtownie

rosnącym zapotrzebowaniem na energię elektryczną i ciepłą, oraz równie szybko rosnącego zapotrzebowania medycyny nuklearnej na nowe radiofarmaceutyki diagnostyczne i terapeutyczne, których skuteczność w rozpoznawaniu i zwalczaniu wielu chorób, zwłaszcza nowotworowych, przewyższa często inne metody medycyny klasycznej. Prace B+R w obu tych kierunkach, ukierunkowane na chemiczne aspekty energetyki jądrowej oraz na wybrane zagadnienia chemii radiofarmaceutycznej, są prowadzone w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej już od wielu lat, a program badawczy powstałego Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej przewiduje ich intensyfikację i jeszcze ściślejsze ukierunkowanie na rozwój energetyki jądrowej i ochrony zdrowia w Polsce. Bardzo ważnym dla przyszłości całej polskiej nauki zadaniem Centrum będzie kształcenie w zakresie radiochemii i chemii jądrowej młodej kadry dla energetyki jądrowej i medycyny nuklearnej.

Centrum, łączące zespoły kilku zakładów badawczych ICH TJ, podejmuje badania rozpoznawcze nad syntezą nowych materiałów służących do otrzymywania reaktorowych paliw jądrowych oraz zajmie się opracowywaniem nowych metod i technologii unieszkodliwiania odpadów promieniotwórczych generowanych przez elektrownie jądrowe. Kontynuacja prowadzonych już wcześniej badań nad hydrometalurgicznymi (ekstrakcyjnymi) metodami oddzielania aktywności od lantanowcowych produktów rozszczepienia w procesie przerobu wypalonych paliw jądrowych przebiega w ramach europejskiego projektu współpracy **GENIORS** pn. **Zintegrowane strategie recyklingu tlenkowych paliw GEN IV** (*GEN IV Integrated oxide fuels recycling strategies*, GA No 755171) w ramach *H2020 Euratom-Fission*, koordynowanego przez francuski Komisarjat ds. Energii atomowej i alternatywnych źródeł energii (CEA), z udziałem takich gigantów przemysłowych jak *Electricite de France* i AREVA NC SA oraz 21 wybitnych jednostek naukowych (uniwersytetów i instytutów badawczych) z Francji, Wielkiej Brytanii, Niemiec, Szwecji, Belgii, Holandii, Włoch, Hiszpanii, Czech i Polski. Badania te ukierunkowane są na optymalizację procesu selektywnego wydzielania długożyciowych aktywności (ameryk, kiur) z wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych za pomocą nowych ekstrahentów poli-Nheterocyklicznych. Wyniki uzyskane przez nasz zespół w ramach współpracy międzynarodowej pozwalają na głębsze zrozumienie procesów fizykochemicznych przebiegających podczas przerobu wypalonych paliw jądrowych, co powinno przyczynić się do doskonalenia tych procesów, np. EURO-GANEX, będących w stadium opracowywania.

GENIORS

Cele projektu:

- Opracowanie metod przetwarzania wypalonego paliwa jądrowego w użyteczny zasób, poprzez zastosowanie innowacyjnych rozwiązań i procesów chemicznych.
- Rozwijanie wiedzy w zakresie recyklingu paliwa jądrowego z uwzględnieniem redukcji odpadów, parametrów środowiskowych i hipotetycznych awarii.
- Zwiększenie bezpieczeństwa obecnych przechowalników podczas normalnej eksploatacji, jak również w przypadku awarii jądrowej.
- Wzmocnienie współpracy pomiędzy kluczowymi interesariuszami w Europie (naukowcy, przemysłowcy i decydenci), w celu wprowadzania opartej na nauce strategii zarządzania energetyką jądrową w UE i wykształcenia kolejnych pokoleń chemików zajmujących się procesami rozdzielania.

24 partnerów z 10 krajów
Koordynator: CEA, Francja



Od roku 2017 realizowany jest w Centrum projekt **CHANCE** pn. **Charakteryzowanie kondycjonowanych odpadów promieniotwórczych w celu ich bezpiecznego składowania w Europie** (*Characterization of conditioned nuclear waste for its safe disposal in Europe*, GA No 755371), koordynowany przez francuską Narodową Agencję Zarządzania Odpadami Radioaktywnymi, z udziałem 11 francuskich, włoskich, niemieckich, belgijskich, brytyjskich, fińskich, rumuńskich i polskich jednostek naukowych i agencji rządowych.

Cele projektu:

- Ustanowienie na poziomie europejskim kompleksowego podejścia do istniejących sposobów charakteryzowania kondycjonowanych odpadów promieniotwórczych i systemów kontroli jakości w krajowych programach postępowania z odpadami promieniotwórczymi,
- Rozwijanie, testowanie i walidacja niszczących technik charakteryzowania odpadów promieniotwórczych (CRW), uzupełniających obecną metodologię, jak kalorymetria, tomografia mionowa i spektroskopia węglowa (CRDS), a jednocześnie będących ukierunkowanymi na duże i niejednorodne mieszanie odpadów.

Celem projektu CHANCE jest ustanowienie na poziomie europejskim kompleksowego zrozumienia aktualnego podejścia do charakteryzowania kondycjonowanych odpadów promieniotwórczych i systemów kontroli jakości w krajowych programach postępowania z odpadami promieniotwórczymi, w oparciu o wkład użytkowników końcowych, takich jak organizacje zajmujące się gospodarką odpadami i ich składowaniem. Innym celem CHANCE jest dalszy rozwój, testowanie i walidacja już zidentyfikowanych technik, które poprawią charakterystykę odpadów kondycjonowanych.



Cele projektu:

- Wspieranie państw członkowskich w opracowywaniu i wdrażaniu krajowych programów badań i rozwoju w celu bezpiecznego długoterminowego zarządzania ich pełną gamą różnych rodzajów odpadów radioaktywnych poprzez uczestnictwo we wspólnym programie RWM; w szczególności:
- Skonsolidowanie istniejącej wiedzy na temat bezpiecznego rozpoczęcia eksploatacji pierwszych geologicznych obiektów do składowania wypalonego paliwa jądrowego, odpadów wysokopoziomowych i innych długowiecznych odpadów promieniotwórczych oraz wspieranie optymalizacji związanej z stopniowym wdrażaniem unieszkodliwiania geologicznego;
- Poprawa zarządzania wiedzą i transferu między organizacjami, państwami członkowskimi i pokoleniami.

Zespół Centrum bierze też udział w innym projekcie dotyczącym odpadów promieniotwórczych **EURAD** pn. **Europejski wspólny program gospodarowania odpadami promieniotwórczymi** (*European Joint Programme on Radioactive Waste Management*, GA No 847593), który uzyskał finansowanie od 2019 r. Celem *Joint Programme* jest wygenerowanie i zarządzanie wiedzą w zakresie odpadów promieniotwórczych w celu wsparcia państw członkowskich UE w ich wdrażaniu Dyrektywy 2011/70/Euratom biorąc pod uwagę różne wielkości i etapy zaawansowania Krajowych programów państw członkowskich. Projekt łączy w sobie badania nad nowoczesnymi metodami przeróbki i składowania odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa jądrowego ze studiami strategicznymi w tej dziedzinie. IChTJ uzyskał mandat Departamentu Energii Jądrowej, Ministerstwa Energii, do reprezentowania

w tym konsorcjum realizowanych w kraju projektów badawczych dotyczących odpadów promieniotwórczych i wypalonego paliwa w aspekcie rozwijanego programu jądrowego.



W projekcie **DISCO** pn. **Modern Spent Fuel Dissolution and Chemistry in Failed Container Conditions** (GA 755443) Instytut współpracuje jako członek Grupy Stowarzyszonej (*Associated Group member*). Celem projektu jest poznanie zachowania się paliwa w składowisku przez bardzo długi okres czasu (do miliona lat), zrozumienie mechanizmów rozkładu wypalonego paliwa w redukującym środowisku składowiska w przypadku uszkodzenia pojemnika oraz ocena nowych typów paliwa (MOX, paliwo domieszkowane) – czy zachowuje się tak, jak konwencjonalne.



Z kolei do projektu **SHARE – A roadmap for Research in Decommissioning** (GA 847626), koordynowanego przez francuski CEA, Instytut został zaproszony jako członek panelu ekspertów (*Expert Panel Review*), złożonego z 16 jednostek z 11 krajów. Głównym celem projektu SHARE jest koordynacja działań na rzecz poprawy bezpieczeństwa, ograniczenia kosztów i zminimalizowania wpływu na środowisko procesu likwidacji obiektów jądrowych przez następne 10–15 lat.

Prace będące odpowiedzią na nowe wyzwania wynikające z przygotowań do uruchomienia energetyki jądrowej w Polsce realizowane są również przez Zakład Naukowy – **Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych**, które jako Centrum RAPID znalazło się od bieżącego roku na Polskiej Mapie Infrastruktury Badawczej.



Obecnie realizowany jest już tutaj drugi projekt Euratomu i Komisji Europejskiej dotyczący monitorowania starzenia kabli i przewodów w elektrowniach jądrowych – **TEAMCABLES** pn. **Europejskie narzędzia i metody**

logie dla efektywnego zarządzania starzeniem kabli w elektrowniach jądrowych (*European tools and methodologies for an efficient ageing management of nuclear power plant cables*, GA No 755183), koordynowany przez *Electricite de France*, z udziałem AREVA GMBH, Niemcy i NEXANS France S.A.S. oraz 10 jednostek naukowych z Francji, Niemiec, Czech, Finlandii, Polski i Włoch. Planowane wdrożenie energetyki jądrowej pociąga za sobą konieczność kontynuowania w przyszłości badań związanych z diagnozowaniem stopnia degradacji izolacji i osłon przewodów elektrycznych instalowanych w otoczeniu reaktora, prognozowaniem czasu ich bezpiecznej eksploatacji oraz przygotowaniem podstaw dla prowadzenia procesu ich kwalifikacji.

Grażyna Przybytniak, Jarosław Sadło, Marta Walo, "Kontrolowanie degradacji kabli i przewodów elektrycznych w elektrowniach jądrowych" w *Postępy Techniki Jądrowej*, pp.18, VOL. 62 Z. 2 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2019

Jak wskazują ostatnie doświadczenia zebrane w projektach Euratom, warunkiem uczestnictwa w nich są rozwinięte krajowe programy badawcze. Tylko zespoły realizujące takie programy będą mogły uczestniczyć w paneuropejskich programach koordynacyjnych, a warunkiem ich zaangażowania jest mandat odpowiednich organizacji administracji państwowej będących właścicielami takich programów odniesionych do strategii krajowych. Dlatego niezbędne jest uruchomienie w Polsce programu badawczego dotyczącego m.in. gospodarki odpadami promieniotwórczymi.

Należy dodać, że IChTJ realizuje również 9 międzynarodowych projektów badawczych (*Coordinated Research Programmes*) w ramach umów z MAEA. Jest to dowód na aktywne działania instytutów badawczych w zakresie pozyskiwania funduszy europejskich i funduszy zarządzanych przez agendy ONZ. Jest też wyrazem uznania instytucji międzynarodowych dla osiągnięć oraz wysokiego potencjału naukowego naszych jednostek. IChTJ jako jedyna instytucja naukowa w Polsce uzyskała zatwierdzoną przez Rząd RP nominację na tzw. *Collaborating Centre IAEA*. Posiada również *Erasmus Charter* przyznaną przez EU na lata 2014-2020, a w ramach prowadzonego przez IChTJ międzynarodowego studium doktoranckiego naukę pobiera 20 osób. Uruchomiona została również Szkoła Doktorska. Realizowany program studiów i badań w zakresie chemii jądrowej i radiacyjnej oraz jądrowej inżynierii chemicznej jest programem unikatowym w skali kraju i jednym z wiodących w Europie.

Dorota Korniszewska,
Zastępca Kierownika
Działu Planowania, Koordynacji i Analiz
Ekonomicznych,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POLSKO-FRANCUSKA NAGRODA NAUKOWA IM. MARII SKŁODOWSKIEJ I PIERRE'A CURIE

Polsko-Francuska Nagroda Naukowa im. Marii Skłodowskiej i Pierre'a Curie jest nową wspólną inicjatywą Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP), Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego, Badań Naukowych i Innowacji Republiki Francuskiej (MESRI) oraz Francuskiej Akademii Nauk (Académie des Sciences). Celem Nagrody Skłodowskiej i Curie jest wyróżnienie wybitnych osiągnięć naukowych będących owocem współpracy francusko-polskiej. Nagroda została powołana z okazji Polsko-Francuskiego Roku Nauki. Obchody Roku zainaugurowano w Paryżu w marcu 2019 r., gdzie odbyło się pierwsze Polsko-Francuskie Forum Rektorów. Przez cały rok polskie i francuskie instytucje naukowe organizowały warsztaty, konferencje i seminaria poświęcone wspólnym projektom badawczym w sumie ponad 50 wydarzeń zostało objętych patronatem Polsko-Francuskiego Roku Nauki. Głównym wydarzeniem Roku Nauki było V Polsko-Francuskie Forum Nauki i Innowacji. W trakcie Forum dyskutowano na temat roli i formatu międzynarodowych ośrodków badawczych w Europie. Podjęto również temat współpracy między zespołami badawczymi a przemysłem innowacyjnym oraz narzędzi instytucjonalnych w celu rozwoju innowacji. Ponadto miało miejsce omówienie ponad dziesięcioletnich doświadczeń z realizacji polsko-francuskiego programu Polonium.

Uroczystość wręczenia nagrody odbyła się 28 lutego br. w Warszawie w Pałacu Sobańskich. Dr hab. Marcin Szwed i prof. Laurent Cohen oraz prof. Jakub Zakrzewski i dr hab. Dominique Delande odebrali pierwszą Polsko-Francuską Nagrodę Naukową im. Marii Skłodowskiej i Pierre'a Curie. Laureatom gratulował dr Jarosław Gowin, wicepremier i minister nauki i szkolnictwa wyższego, a także JE Ambasador Francji w Polsce dr Frédéric Billet i dr Alina Toader z francuskiego Ministerstwa Szkolnictwa Wyższego, Nauki i Innowacji. Laudacje na temat laureatów wygłosili profesorowie z Francuskiej Akademii Nauk: Claude Debru i Édouard Brézin.

Nagroda została przyznana za wybitne osiągnięcia naukowe będące efektem współpracy pomiędzy naukowcami z Polski i z Francji. Kognitywista Marcin Szwed z Instytutu Psychologii Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz neurolog Laurent Cohen z Instytutu Badań nad Mózgiem i Rdzeniem Kręgowym (Institut du Cerveau et de la Moelle épinière, ICM) zostali docenieni za nowatorskie badania dotyczące procesów zachodzących w mózgu podczas czytania. Natomiast fizycy Jakub Zakrzewski z Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki Stosowanej Uniwersytetu Jagiellońskiego oraz Dominique

Delande z Narodowego Centrum Badań Naukowych we Francji (CNRS) otrzymali Nagrodę za osiągnięcia dotyczące fizyki układów kwantowo-mechanicznych.



Fot. 1. Przemawia dr Frédéric Billet, Ambasador Francji w Polsce



Fot. 2. Prof. Olivier Pironneau - wiceprezes Francuskiej Akademii Nauk



Fot. 3. Laureaci (z kwiatami) pierwszej Polsko-Francuskiej Nagrody Naukowej (fot. Paweł Kula)

Nagrodzeni za badania dotyczące fizyki układów kwantowo-mechanicznych, prof. Jakub Zakrzewski i dr hab. Dominique Delande nawiązali współpracę naukową w 1991 r. Przez dwadzieścia osiem lat udało im się zbudować wzorcowy system długoterminowej współpracy między polskimi i francuskimi grupami badaw-

czymi, co przyczyniło się do powstania bardzo prężnej polsko-francuskiej szkoły w sferze teorii fizyki kwantowej układów chaotycznych i/lub nieuporządkowanych. Osiągnięcia tandemu Zakrzewski-Delande dotyczą zjawisk wywołanych nieporządkiem w zimnych układach atomowych o rozmiarach odpowiednich dla eksperymentów i przyszłych technologii kwantowych. Badania te mają charakter teoretyczny i obliczeniowy, skupiają się na realistycznych układach kwantowych w powiązaniu z grupami eksperymentalnymi. Zrozumienie podstawowych procesów mikroskopowych zachodzących w układach kwantowych ma ogromne znaczenie dla szybkiego rozwoju technologii kwantowych. Owocem prowadzonych badań jest 36 wspólnych publikacji, z czego 7 ukazało się w prestiżowym czasopiśmie naukowym „Physical Review Letters”.

Dr hab. Marcin Szwed i prof. Laurent Cohen w ramach trwającej od 2007 r. współpracy naukowej wykazali, że grupy neuronów w korze wzrokowej wydają się specjalizować w czytaniu tekstu i że jest to zjawisko niezależne od kultury i systemu pisma. Eksperymenty pary naukowców wykazały, że u osób niewidomych czytanie za pomocą alfabetu Braille’a pobudza te same obszary wzrokowe, co zwykle czytanie u osób widzących. Był to przełom, gdyż okazało się, że specjalizacja korowa mózgu wynika ze specyfiki zadania – część wzrokowa kory mózgowej nauczyła się czytać brajlem, mimo że, przynajmniej w założeniu, powinna to była wziąć na siebie jej część dotykowa. Eksperyment pokazał, że mózg jest bardziej plastyczny, niż naukowcy wcześniej zakładali, a obszary kory mózgowej, odpowiedzialne za wzrok czy słuch, potrafią się przestawić na odbiór informacji z innych zmysłów. Wyniki badań zostały opisane w siedmiu artykułach naukowych.

*Z materiałów dostarczonych przez
Fundację na rzecz Nauki Polskiej powyższy
tekst wybrał Stanisław Latek*



PROGRAM ERASMUS+

Erasmus+ to program Unii Europejskiej w dziedzinie edukacji, szkoleń, młodzieży i sportu na lata 2014-2020. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, jako jedyny z niepanowskich instytutów badawczych, może poszczycić się przyznaniem przez Komisję Europejską certyfikatu pn. *Erasmus Chart for Higher Education 2014-2020*, stanowiącego potwierdzenie przestrzegania przez IChTJ międzynarodowych standardów wymiany akademickiej.

W ciągu tych siedmiu lat Instytut zrealizował 12 umów finansowanych poprzez Fundację Rozwoju Systemu Edukacji, pełniącą funkcję Narodowej Agencji Programu Erasmus+ w Polsce (dwa kolejne wnioski

czekają na rozpatrzenie). Ze wsparcia mobilności korzystają u nas studenci Międzynarodowych Studiów Doktoranckich, obejmujących swoim zakresem chemiczne aspekty energetyki jądrowej, metody rozdzielcze, chemię analityczną, zastosowania promieniowania jądrowego w przemyśle oraz chemię polimerów.

Oprócz wymiany studenckiej program Erasmus+ finansuje także wyjazdy szkoleniowe kadry naukowej, z której to możliwości pracownicy IChTJ chętnie korzystają, zapoznając się z pracą laboratoriów w instytucjach partnerskich i doskonaląc swój warsztat badawczy. Instytut realizuje również założenia programu, zapisane w polityce *Erasmus Policy Statement* (<http://www.ichtj.waw.pl/drupal/?q=node/693>), polegające na upowszechnianiu wiedzy poprzez wykłady na zagranicznych uczelniach i w instytutach.

Dużym osiągnięciem Instytutu było opracowanie we współpracy z sześcioma jednostkami naukowymi z Francji, Rumunii, Turcji, Włoch i Litwy oryginalnego kursu **Zastosowanie promieniowania jonizującego w procesie obróbki materiałów** oraz podręcznika akademickiego pod tym samym tytułem (<http://tl-irmp.eu/download/book-application-of-ionizing-radiation-in-materials-processing/>). Podręcznik przygotowany został dzięki uzyskaniu przez IChTJ finansowania z programu Erasmus+ w obszarze tzw. partnerstw strategicznych, promujących innowacyjne inicjatywy dotyczące kształcenia. W ramach projektu możliwe było przeprowadzenie pilotażowych kursów szkoleniowych dla dużych grup studentów we Włoszech, Polsce, Francji i na Litwie, w celu weryfikacji jasności i skuteczności przekazu i udoskonalenia materiałów dydaktycznych przed upowszechnieniem.

Od roku 2019 Instytut otworzył wspólnie z Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku Szkołę Dokorską o unikatowym profilu kształcenia w zakresie energetyki jądrowej i fizyki materiałowej, radiofarmacji oraz badań podstawowych w chemii i fizyce – dziedzinach, w których wyjazdy doktorantów do zagranicznych ośrodków nuklearnych są szczególnie istotne dla rozwoju naukowego. Posiadanie karty Erasmusa jest warunkiem koniecznym przystąpienia do programu wymiany. W kolejnym rozdziale Erasmusa Instytut Chemii i Techniki Jądrowej został zakwalifikowany do jednostek uprawnionych do ubiegania się o certyfikat według uproszczonej procedury, co świadczy o pozytywnej ewaluacji dotychczasowej działalności.

*Dorota Korniszewska,
Zastępca Kierownika
Działu Planowania, Koordynacji i Analiz Ekonomicznych,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



SIOR POZNAŃ 2020

Stowarzyszenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej zorganizowało w Poznaniu konferencję na temat ustawy z dnia 13 czerwca 2019 r., o zmianie ustawy – Prawo atomowe oraz ustawy o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. poz. 1593). Dokument ten wprowadził szereg zmian dotyczących wymagań bezpieczeństwa jądowego i ochrony radiologicznej. Celem spotkania było odpowiedzenie na pytania, co zmieniają nowe uregulowania w pracy inspektorów ochrony radiologicznej? Problem dotyczy między innymi: reglamentacji działalności związanej z narażeniem, uprawnień pracowniczych oraz kontroli narażenia pracowników. Obszerne wprowadzenia do wygłoszonych wykładów można znaleźć w materiałach konferencyjnych przygotowanych przez SIOR. Namawiając do lektury tej publikacji, omówiono poniżej najważniejsze poruszone w niej kwestie. Przykładowo znajdują się tam zreferowane przez Edwarda Rabana z Państwowej Agencji Atomistyki informacje na temat nowych form reglamentacji działalności związanej z narażeniem, jakimi są powiadomienie oraz wprowadzenie pojęcia materiału promieniotwórczego, jako materiału zawierającego substancje promieniotwórcze. W przepisach dodano dwie nowe działalności związane z narażeniem wymagające reglamentacji: działalność polegającą na eksploatacji lub zamknięciu kopalni rudy uranu oraz działalność polegającą na aktywacji materiału powodującej wzrost aktywności w wyrobie powszechnego użytku, której w czasie wprowadzania tego wyrobu do obrotu nie można pominąć z punktu widzenia ochrony radiologicznej. Stosownie do art. 14 ust. 1a ustawy – Prawo atomowe Prezes Agencji (dla działalności przez niego reglamentowanych) może, ze względu na szczególne warunki lub okoliczności wykonywania działalności związanej z narażeniem, wyrazić zgodę na podwyższenie dawki granicznej zgodnie z załącznikiem nr 4 do ustawy. W pkt 2 przewiduje się, że dawka graniczna dla pracownika wyrażona jako dawka skuteczna (efektywna) wynosząca co do zasady 20 mSv w roku kalendarzowym, będzie mogła być za zgodą Prezesa Agencji w danym roku kalendarzowym przekroczona do wartości 50 mSv. Jednakże średnia roczna dawka skuteczna (efektywna) w każdym okresie pięciu kolejnych lat kalendarzowych, w tym lat, w których dawka graniczna została przekroczona, nie może przekroczyć 20 mSv. W dotychczasowym stanie prawnym zgoda powyższa nie była wymagana.

Krzysztof Kozak z Instytutu Fizyki Jądowej PAN omówił zapisy ustawy dotyczące nowych regulacji w zakresie stężeń radonu ($Rn-222$) w budynkach i miejscach pracy. Ponadto przedstawił założenia Krajowego Planu Działania w zakresie radonu, obejmujące m.in. przegląd posiadanych danych archiwalnych, określenie skali zagrożenia, opracowanie i przetestowanie procedur pomiarowych, przeprowadzenie akcji edukacyjnej

i szkoleniowej dla m.in. architektów, firm budowlanych, deweloperów oraz dla mieszkańców i władz lokalnych, a także opracowanie zaleceń prowadzących do obniżania stężeń Rn w budynkach już istniejących. Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN ma wieloletnie doświadczenie w zakresie problematyki radonowej i od roku 2007 posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji (AB 788) metod pomiarów radonu we wszystkich komponentach środowiska.

Dorota Wróblewska z Krajowego Centrum Ochrony Radiologicznej w Ochronie Zdrowia przedstawiła zmiany w ustawie – Prawo atomowe w zakresie stosowania promieniowania jonizującego w celach medycznych. W szczególności zwróciła uwagę na zasady ochrony radiologicznej w jednostkach ochrony zdrowia, w tym problematykę uzasadnień i optymalizacji, oraz szczególną ochronę przed promieniowaniem jonizującym kobiet i osób poniżej 16 roku życia. Przybliżone zostały również zagadnienia dotyczące podstaw wykonywania ekspozycji medycznych oraz uprawnień i odpowiedzialności personelu. Omówiono ponadto nowe regulacje dotyczące sposobu postępowania w przypadku ekspozycji niezamierzonych i narażeń przypadkowych, a także nowe uregulowania dotyczące obowiązku podnoszenia kwalifikacji personelu medycznego z zakresu ochrony radiologicznej pacjenta. Wskazane zostały również zmiany odnoszące się do statusu wzorcowych i szczegółowych medycznych procedur radiologicznych oraz nowe ramy organizacyjne realizacji audytów klinicznych zewnętrznych.

Mirosław Lewocki z Zachodniopomorskiego Centrum Onkologii zwrócił uwagę, że z jednej strony ustawa potwierdza kompetencje fizyka medycznego w radioterapii i medycynie nuklearnej, z drugiej natomiast daje prawo kierownikowi jednostki ochrony zdrowia do dopuszczenia do wykonywania zadań przewidzianych dla fizyka medycznego innej osoby, pod warunkiem spełniania określonych wymagań. Podobny zapis dotyczy osób zatrudnionych w zakładach diagnostyki obrazowej stosującej promieniowanie jonizujące. Te zapisy są ściśle związane ze zmianami, jakim ulegnie program specjalizacji w dziedzinie fizyka medyczna. Zasadnicza zmiana polega na podziale programu na dwie części, część ogólną i szczegółową. Nowy program został już przekazany do Centrum Medycznego Kształcenia Podyplomowego do zatwierdzenia.

Dawid Frencel z Wydziału Zarządzania Kryzysowego i Spraw Obronnych, Centrum ds. Zdarzeń Radiacyjnych PAA mówił na temat zmian, które przyniosła nowelizacja w planach postępowania awaryjnego. Jedną z pierwszych widocznych nowości, jest rozszerzenie, definicji zdarzenia radiacyjnego. Obecnie jako zdarzenie radiacyjne rozumie się: nietypową sytuację lub zdarzenie związane ze źródłem promieniowania jonizującego, wymagające podjęcia pilnych działań interwencyjnych w celu złagodzenia poważnych niepożądanych skutków dla zdrowia ludzi, ich bezpieczeństwa, jakości życia, mienia lub środowiska, lub zmniejszenia ryzyka, które

mogłoby doprowadzić do ww. skutków. Natomiast najbardziej istotną zmianą wprowadzoną przez ustawę jest uwzględnienie kategorii zagrożeń prowadzonych działalności związanych z narażeniem na promieniowanie jonizujące, zgodnie z wytycznymi Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (GSR Part 7 Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency).

Ryszard Kowski z Łódzkiego Ośrodka Szkoleniowo-Konsultacyjnego zreferował problematykę standardów w obrazowaniu medycznym. Aktualne prawo porządkuje następujące kwestie: kto ma prawo tworzyć i interpretować obrazy medyczne; jakiego wyposażenia należy używać do tworzenia i prezentacji obrazów medycznych; jak powinno być nadzorowane i w jakich warunkach eksploatowane wyposażenie do tworzenia i prezentacji obrazów medycznych; jakie powinny być zasady nadzoru nad jakością obrazowania medycznego.

Michał Bonczyk z Głównego Instytutu Górnictwa w Katowicach wygłosił wykład na temat przepisów dotyczących górnictwa w świetle zmian w Prawie atomowym. Dokument ten identyfikuje czynniki narażenia radiacyjnego występujące w kopalniach, określa sposoby monitorowania tych czynników oraz sposoby postępowania w przypadku narażenia. Najbardziej problematycznymi są kwestie postępowania z silnie promieniotwórczymi osadami.

Agnieszka Szumska z Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk omówiła problem implementacji dozymetrii na soczewki oczu w Polsce. Konsekwencją 7,5-krotnego zmniejszenia limitu dawki z wartości 150 mSv/rok do poziomu 20 mSv/rok może stać się konieczność monitorowania równoważnika dawki na soczewki oczu, za pomocą wielkości operacyjnej $H_p(3)$, rutynowo niemierzonej do tej pory. Oznacza to również, że dozymetria soczewek oczu staje się interesującym zagadnieniem z punktu widzenia ochrony przed promieniowaniem jonizującym. Warto dodać, że Laboratorium Dozymetrii Indywidualnej i Środowiskowej LA-DIS zaraz po wprowadzeniu zalecenia Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej ICRP w 2011 dotyczącej obniżenia limitu dawki na soczewki oczu wprowadziło możliwość pomiarów wielkości $H_p(3)$ za pomocą dedykowanego dawkomierza termoluminescencyjnego EYE-DTM już w 2012 r. i jako pierwsze laboratorium w Europie uzyskało akredytację na jej pomiar. W prezentacji przedstawiono analizy i wnioski z 5000 otrzymanych wyników pomiarów wielkości $H_p(3)$ w latach 2012–2018 za pomocą dawkomierza EYE-DTM oraz wnioski z badań i analiz nad możliwością szacowania dawek na soczewki oczu za pomocą innych wielkości operacyjnych.

Grażyna Ibrón z SO ZOZ Ministerstwa Spraw Wewnętrznych Warmińsko-Mazurskiego Centrum Onkologii w Olsztynie opowiedziała, co nowego w radioterapii, wprowadziła ustawa – Prawo atomowe. I tak rozdział 3a poświęcony stosowaniu promieniowania jonizującego w celach medycznych, zmienił nazwę na „Stosowanie

promieniowania jonizującego w celach medycznych oraz w celu obrazowania pozamedycznego, oraz został napisany od nowa. Zmiany są związane z uszczegółowieniem większości wymagań formalnych, wprowadzeniem nowych określeń np. opiekun, narażenie przypadkowe, ekspozycja niezamierzona, rozszerzeniem zapisów dotyczących ochrony przed promieniowaniem kobiet w wieku rozrodczym i dzieci. Zmiany dotyczą również sposobu realizacji obowiązku stałego podnoszenia kwalifikacji z zakresu ochrony radiologicznej pacjenta (uzyskanie certyfikatu ORP) przez osoby wykonujące i nadzorujące wykonywanie procedur z zastosowaniem promieniowania jonizującego. Rozbudowana i uszczegółowiona została kwestia audytów klinicznych zarówno wewnętrznych, jak i zewnętrznych. Podano wymagania dotyczące zagadnień objętych audytami oraz określono zadania Komisji Procedur i Audytów w tym zakresie. Dużą uwagę przywiązano do sprawy testów podstawowych i specjalistycznych wykonywanych w poszczególnych rodzajach ekspozycji medycznych. Po wprowadzeniu pojęć ekspozycja niezamierzona, narażenie przypadkowe wprowadzono Centralny Rejestr Ekspozycji Niezamierzonych i Narażeń Przypadkowych, prowadzony przez Krajowe Centrum. Poświęcono również sporo uwagi eksperymentom medycznym i badaniom klinicznym z wykorzystaniem promieniowania jonizującego, podając wymogi formalne do prowadzenia tego typu działalności.



Fot. 1. Uczestnicy konferencji SIOR 2020. W pierwszym rzędzie siedzą: Edward Raban (PAA) i Jerzy Wojnarowicz (NCBJ), (fot. z archiwum SIOR)

Stanisław Dziuba z Zakładów Usługowo-Produkcyjnych DELTA w Zamościu przedstawił historię zakładu oraz ciekawe przykłady wykorzystania nowoczesnej, suchej technologii produkcji zabezpieczeń z laminowanych płyt warstwowych.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Maria Kubicka
prezes Stowarzyszenia Inspektorów Ochrony Radiologicznej,
Poznań



GALA BCC 2020

25 stycznia 2020 r. po raz 26. w Teatrze Wielkim – Operze Narodowej odbyła się Wielka Gala Liderów Polskiego Biznesu. Podczas części oficjalnej Gali wręczono Nominacje i Złote Statuetki Lidera Polskiego Biznesu, a laureaci z poprzednich lat, którzy utrzymali pozycję na rynku, otrzymali Diamenty do swoich Statuetek. Wręczone zostały także Nagrody Specjalne BCC – Złote Statuetki, które otrzymali: prof. Adam Strzembosz w uznaniu wkładu w transformację ustrojową w naszym kraju w sferze prawa i sądownictwa, stworzenie podstaw nowej Konstytucji z trójpodziałem władz i wprowadzeniem ważnych międzynarodowych standardów, stawianie wartości i zasad etycznych na pierwszym miejscu, otwartości na dialog, a także za odwagę i determinację w działaniach na rzecz demokratycznego państwa prawa, praworządności i niezależnych sądów oraz prof. Adam Daniel Rotfeld w uznaniu wybitnych zasług dla Polski na polu polityki, dyplomacji i nauki, za rozsławianie Polski przez kolejne dziesięciolecia na arenie międzynarodowej i międzykontynentalnej. Marek Goliszewski, prezes BCCS otwierając galę, powiedział między innymi „Spotykamy się na progu nowej ery cywilizacyjnej – technologie informatyczne, nano i biotechnologie, drony, inżynieria genetyczna, robotyzacja, sztuczna inteligencja, algorytmy rewolucjonizują nasze myślenie i porozumiewanie się. Łączymy mózg z telefonem komórkowym i komputerem, które przejmują część jego funkcji, zmieniamy się w prawdziwe cyborgi. Nowa era wywołuje wiele przewartościowań w naszej codzienności, w życiu państwa i gospodarki; być może, liberalna demokracja i wolny rynek okazały się równie przestarzałe, jak taśma magnetofonowa, czy komunizm. Ale powinniśmy pamiętać, że to dzięki kapitalizmowi – mimo jego wad – udało się w Polsce i na świecie podnieść poziom życia, ograniczyć głód i choroby. Zasady demokracji liberalnej – mimo jej wad – okazały się najbardziej skutecznym projektem politycznym i gospodarczym, również dla Polaków; przyniosły postęp i korzyści, bez precedensu w historii”.

Diamentem do złotej statuetki wyróżniono między innymi Technokabel S.A. Firma ta współpracuje z Instytutem Chemii i Techniki Jądrowej. Technokabel Spółka w ramach sektorowego Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój pt: Specjalistyczne kable w izolacji polimerowej sieciowanej radiacyjnie o zaawansowanych właściwościach. Celem badań było opracowanie innowacyjnej technologii sieciowania radiacyjnego dla różnych typów kabli oraz wybranych materiałów izolacyjnych. Oprócz zaprojektowania nowej technologii powstało 5 grup prototypów kabli. Aktualnie Technokabel S.A. w ofercie ma tzw. giętkie bezhalogenowe przewody jednożyłowe TECHNORAY-3 przeznaczone do wy-

konywania połączeń stałych i ruchomych w pojazdach taboru szynowego oraz komunikacji miejskiej. Przewody mogą być również stosowane w systemach kontrolnych, zabezpieczeniowych, sterowniczych i do zasilania w energię elektryczną. Specjalna konstrukcja przewodu pozwoliła osiągnąć dużą giętkość i wytrzymałość mechaniczną. Zastosowanie na izolację przewodów tworzyw bezhalogenowych usieciowanych radiacyjnie pozwala na pracę ciągłą w wyższych temperaturach oraz gwarantuje wysoki poziom bezpieczeństwa pożarowego. Przewody bezhalogenowe używane są tam, gdzie potrzebne jest większe bezpieczeństwo ludzi i zastosowanie kosztownych urządzeń elektronicznych na wypadek pożaru. Przewody nie rozprzestrzeniają płomienia, emisja dymu jest bardzo niska, a emitowane gazy są nietoksyczne i niekorozyjne. Przewody przeznaczone są do eksploatacji w warunkach częstej styczności z materiałami ropopochodnymi. Izolacja przewodów wykonana jest z tworzywa bezhalogenowego spełniającego wymagania normy PN-EN 60811-2-1 w zakresie olejoodporności. Przewody posiadają dopuszczenie Instytutu Kolejnictwa do stosowania w pojazdach taboru szynowego i komunikacji miejskiej.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POLSKO-AMERYKAŃSKIE FORUM PRZEMYSŁU JĄDROWEGO

W Warszawie 18 listopada 2019 r. odbyło się polsko-amerykańskie forum przemysłu jądrowego „Polish-US Nuclear Industry Forum – Large scale technologies III/III+”. Było ono wynikiem wielu działań prowadzonych w ramach polsko-amerykańskiego strategicznego dialogu energetycznego, którego celem jest rozwój partnerstwa pomiędzy oboma krajami w sektorze energii jądrowej. Forum zostało zorganizowane przez Ministerstwo Energii pod Honorowym Patronatem Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Andrzeja Dudy, przy wsparciu merytorycznym Departamentu Energii Stanów Zjednoczonych, Ambasady Stanów Zjednoczonych w Warszawie, amerykańskiej izby przemysłu jądrowego (US Nuclear Industry Council), Nuclear Energy Institute oraz polskiej Izby Gospodarczej Energetyki i Ochrony Środowiska. W spotkaniu wzięło udział blisko 200 uczestników, w większości reprezentujących firmy z Polski i USA. Forum zakończyła sesja bezpośrednich rozmów typu B2B pomiędzy przedstawicielami firm polskich i amerykańskich. Celem tych bilateralnych spotkań była próba oceny możliwości dwustronnej współpracy przy projektach, zarówno w obu krajach, jak i na rynkach państw trzecich. Wiceminister Tomasz

Dąbrowski, otwierając spotkanie, przypomniał, że zakwalifikowany projekt Polityki Energetycznej Polski do 2040 r. został przedstawiony do kolejnych konsultacji. Obecny projekt PEP2040 przewiduje budowę w Polsce 6 bloków jądrowych do 2043 r. Realizacja tych inwestycji ograniczy emisję gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza z sektora energetyki, a także zapewni nam stabilność i bezpieczeństwo dostaw (niezależni od gazu oraz węgla kamiennego). Przy okazji podsumowano dorobek polskich instytucji w dziedzinie światowej energetyki jądrowej. W ciągu ostatniej dekady 60 polskich firm uczestniczyło w 40 projektach jądrowych w 24 krajach świata na trzech kontynentach m.in. w Kanadzie, Indiach i Japonii. Na konferencji przedstawiono nową edycję katalogu „Polish Industry for Nuclear Energy”, w którym wymieniono ponad 300 podmiotów, w tym niemal 50 polskich firm z doświadczeniem w realizacji projektów jądrowych. To pozwala realnie myśleć o znaczącym udziale polskiego przemysłu w realizacji projektu jądrowego w naszym kraju. Przykładowo w roku 2019 wrocławskie fabryki GE wyprodukowały stojan generatora dla kanadyjskiej elektrowni jądrowej Darlington. W elektrowni tej zamontowano już korpus turbiny, której obróbkę termiczną wykonał kędzierzyński Famet. Warszawskie APS Energia wyprodukowało stabilizatory zasilania UPS dla elektrowni jądrowej Kudankulam II w Indiach. Na budowie elektrowni jądrowej w Olkiluoto 3 w Finlandii pracowały firmy: Elektrobudowa, Polbau, Warbud, KMW Engineering, Gotech, wrocławskie oddziały Siemens oraz Energomontaż Północ Gdynia. Ta ostatnia wyprodukowała obudowę dla zbiornika reaktora, tzw. liner o wadze powyżej 400 ton. W szczycie natężenia prac na budowie elektrowni jądrowej w Finlandii pracowało 25 polskich firm. Także przy francuskiej elektrowni jądrowej Flamanville 3 były zaangażowane nasze przedsiębiorstwa: Polimex Mostostal, Energop Sochaczew, Holduct czy polskie fabryki niemieckiego Berliner Luft. Polskie podmioty zdobyły kontrakty przy budowie elektrowni Hinkley Point C w Wielkiej Brytanii (ZKS Ferum, Rockfin czy elbląskie zakłady General Electric).

Na Forum bardzo aktywna była firma Westinghouse, której struktura własności jest obecnie zdominowana przez Japońską Toshiba (87% udziałów). Przedstawiła ona swój najnowszy wodno-ciśnieniowy reaktor AP1000. Westinghouse Electric Company realizują aktualnie 8 projektów, z których cztery znajdują się w Chinach (pozostałe w Stanach Zjednoczonych). Chociaż w USA planuje się budowę kolejnych 18 reaktorów, to Chiny zamierzają uruchomić kolejne 135. Oczywiście nie wszystkie zostaną kupione do Westinghousa, ale jest o co walczyć na rynku chińskim.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



XV SZKOŁA STERYLIZACJI I MIKROBIOLOGICZNEJ DEKONTAMINACJI RADIACYJNEJ

Stało się już tradycją, iż co dwa lata Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie organizuje Szkołę Sterylizacji i Mikrobiologicznej Dekontaminacji Radiacyjnej. Ogólnym celem spotkań jest próba podsumowania dorobku krajowych instytucji naukowo-badawczych produkcyjnych w dziedzinie sterylizacji i mikrobiologicznej dekontaminacji. Jak ogólnie wiadomo, podstawową cechą wyrobów medycznych, produktów leczniczych oraz przeszczepów jest jałowość. Proces sterylizacji (zabicia drobnoustrojów oraz ich form przetrwalnikowych) można prowadzić różnymi metodami, dostosowanymi do aktualnych wymagań medycznych oraz rodzaju materiału, z którego wykonano dany wyrób. Na skalę przemysłową stosowane są głównie dwie metody sterylizacji: gazowa, wykorzystująca toksyczne właściwości tlenu etylenu i radiacyjna, w której bakteriobójczo działa promieniowanie jonizujące. Sterylizacja metodą radiacyjną jest w naszym kraju coraz lepiej znana, jednak nie wszyscy wytwórcy wyrobów medycznych, produktów leczniczych i kosmetyków zdają sobie sprawę, że wysokoenergetyczne elektrony i promieniowanie gamma, a obecnie również promieniowanie hamowania można z powodzeniem stosować do unieszkodliwiania drobnoustrojów chorobotwórczych. Niedostatecznie promuje się również unikalne zalety tej metody tj.: wyjałowienia całej objętości materiału, dużą wydajność, niezawodność, brak szkodliwych pozostałości po napromieniowaniu, możliwość wykorzystania produktu bezpośrednio po sterylizacji oraz możliwość wyjaławiania wyrobu w zbiorczym opakowaniu handlowym. W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej działa jedyna w kraju przemysłowa Stacja Sterylizacji Radiacyjnej, wyposażona w akcelerator Elektronika 10/10 oraz posiadająca Certyfikat Systemu Zarządzania w zakresie projektowania i przeprowadzania procesu napromieniowania wyrobów medycznych oraz certyfikat GMP. Stacja świadczy usługi dla ponad 50 wytwórców pracujących dla potrzeb Służby Zdrowia oraz wytwórców kosmetyków i produktów leczniczych. Z myślą o tych użytkownikach, jak również o przedsiębiorcach, którzy potencjalnie mogą stosować metody sterylizacji radiacyjnej, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej organizuje Szkoły Sterylizacji Radiacyjnej. Ich podstawowym zadaniem jest przedstawienie obiektywnych informacji na temat różnych metod wyjaławiania w taki sposób, aby wytwórcy wyrobów medycznych mogli wybrać najlepsze, z punktu widzenia ich wyrobów rozwiązania. Do udziału w Szkole w charakterze wykładowców zapraszamy najlepszych specjalistów z kraju.

Kolejną dwudniową Szkołę planujemy zorganizować na jesieni 2021 r. w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie. Wykłady odbywać się będą

w Sali Seminaryjnej Instytutu. Pragniemy podobnie jak w latach poprzednich zwrócić się w równym stopniu do wytwórców wyrobów medycznych, produktów leczniczych, opakowań dla przemysłu farmaceutycznego i spożywczego, jak i lekarzy, farmaceutów, pracowników Stacji Sanitarno-Epidemiologicznych oraz konserwatorów dzieł sztuki. Tematyka Szkoły obejmować będzie następujące zagadnienia: Porównanie różnych metod sterylizacji; Przemysłowe wykorzystanie wiązki elektronów i promieniowania gamma w sterylizacji; Możliwości wykorzystania promieniowania hamowania w sterylizacji; Wpływ promieniowania na materię i organizmy żywe; Mikrobiologiczne aspekty sterylizacji, badania jałowości, wyznaczanie dawki sterylizacyjnej; Przegląd materiałów poddawanych sterylizacji radiacyjnej; Dobra praktyka wytwarzania; Walidacja procesu sterylizacji radiacyjnej. Komitet Organizacyjny: dr inż. Zbigniew Zimek, dr inż. Andrzej Rafalski, dr inż. Wojciech Głuszewski, dr Rafał Kocia (r.kocia@ichtj.waw.pl).

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



V POLSKO-FRANCUSKIE FORUM NAUKI I INNOWACJI

19 listopada 2019 r. odbyła się po raz kolejny tym razem w Szkole Głównej Handlowej Polsko-Francuskie Forum Nauki i Innowacji. Wpisało się ono w obchody Polsko-Francuskiego Roku Nauki w ramach 100. Rocznicy przywrócenia stosunków dyplomatycznych między Polską i Francją. Celem spotkania jest wzmocnienie polsko-francuskiej współpracy w dziedzinie badań i innowacji, zwłaszcza w ramach dwustronnego programu PHC Polonium. Promuje się przy okazji współpracę między zespołami badawczymi a innowacyjnym przemysłem. W spotkaniach biorą udział: pracownicy uczelni i instytutów badawczych, urzędnicy,

innowatorzy, studenci, dziennikarze. Tegoroczną konferencję otworzyli; prof. Marek Rocki (Rektor Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie), Sebastian Skuza (podsekretarz stanu, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego), Frederick Bilet (Ambasador Francji w Polsce), dr Jacques Maddaluno (Dyrektor Instytutu Chemii, Centre national de la recherche scientifique). Odbyły się dwie dyskusje okrągłego stołu na tematy: „Roli i formatu międzynarodowych ośrodków badawczych w Europie” oraz „Współpracy między zespołami badawczymi a przemysłem innowacyjnym oraz narzędzi instytucjonalnych w celu rozwoju innowacji”. Ważną częścią spotkania była sesja plakatowa, na której zaprezentowano kilkadziesiąt komunikatów naukowych. Wzorem lat poprzednich przedstawione zostały najnowsze informacje na temat współpracy Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej z pracownią konserwacji dzieł sztuki NucleArt w Grenoble. Przypomnę, że pracownia ta rutynowo stosuje techniki radiacyjne w konserwacji tzw. mokrego drewna. Piąta edycja Polsko-Francuskiego Forum jest dowodem na nieustanną gotowość naszych krajów do wymiany doświadczeń i wiedzy w obszarze nauki i innowacji, które z kolei mają szczególne znaczenie dla budowy nowoczesnej gospodarki. Francja jest dla nas bardzo ważnym partnerem w dziedzinie badań naukowych i szkolnictwa wyższego. Nasze zespoły badawcze pracują wspólnie nad priorytetowymi dla obu krajów projektami z zakresu badań nad nowotworami, biotechnologią, energią, ochrony środowiska i tradycyjnie chemii i fizyki. Wspólnie realizujemy program Polonium, który umożliwia dwustronną wymianę naukowców – powiedział minister Skuza. Dodał, że w obszarze szkolnictwa wyższego prowadzimy ponad 60 uniwersyteckich programów kształcenia, których absolwenci otrzymują podwójne dyplomy. Polskie i francuskie uczelnie należą do konsorcjów wyłonionych w ramach inicjatywy uniwersytetów europejskich. Naukowcy i studenci z Francji zainteresowani prowadzeniem badań w Polsce mogą korzystać z programów agencji wykonawczych MNIŚW, w tym Narodowej Agencji Wymiany Akademickiej.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



6TH CENTRAL & EASTERN EUROPE NUCLEAR INDUSTRY CONGRESS 2020, JANUARY 20-21, PRAGUE, CZECH REPUBLIC

A oto ramowy program Kongresu, o którym informujemy w tytule tej noty:

DZIEŃ PIERWSZY

Sesja 1. Krajobraz globalnego europejskiego rynku energii jądrowej
Sesja 2. Przegląd sytuacji energetyki jądrowej w krajach Europy Środkowo-Wschodniej (EŚW)
Panel dyskusyjny. Jak współpracować, aby zwiększyć aktualną dostępność energii jądrowej w krajach EŚW?

DZIEŃ DRUGI

Subforum 1.

Sesja 1. Nowe inwestycje jądrowe i projekty Long Term Operation (LTO) w Europie Środkowo-Wschodniej: historia postępu i sukcesu
Dyskusja panelowa. Nowa faza nowych inwestycji: wyzwania i możliwości
Sesja 2. Trendy innowacji technologicznych.

DZIEŃ DRUGI

Subforum 2

Sesja 1. Decommissioning – możliwości i działania rynkowe
Sesja 2. Gospodarka odpadami radioaktywnymi i wypalonym paliwem
Panel dyskusyjny. Przyspieszenie likwidacji obiektów jądrowych i gospodarki odpadami radioaktywnymi w krajach EŚW. Strategia i praktyka

Sesja 3. Demonstracja rozwiązań związanych z likwidacją i gospodarką odpadami.

Jedną z najciekawszych prezentacji przedstawił na kongresie Vladimir Wagner z Instytutu Fizyki Jądrowej Czeskiej Akademii Nauk. Poniżej publikujemy tłumaczenia kilku slajdów z prezentacji V. Wagnera

Europejska polityka energetyczna

- 1) Zwiększenie wysiłków na rzecz przejścia na produkcję energii o niskiej emisji.
- 2) Stopniowe wycofywanie węgla, duże wyzwanie (problem) dla Czech, Polski i Niemiec.
- 3) Przejście na energię elektryczną również w transporcie, przemyśle i częściowo ogrzewaniu.
- 4) Możliwe są dwie polityki energetyczne:
 - Gaz i odnawialne źródła energii (Niemcy),
 - Jądrowe i odnawialne źródła energii (Francja).
- 5) Bardzo skomplikowane podejście do energii jądrowej w Europie.
- 6) Gaz jest również kopalny, emisje CO₂ są mniejsze, ale podczas wydobywania powstają również gazy cieplarniane – kiedy rozpocznie się wycofywanie gazu?
- 7) Pełna sprzeczności – decentralizacja: małe źródła, inteligentne pogłębianie centralizacji.

Co zrobić z energetyką jądrową w Europie Środkowej?

- 1) Zmniejsza się eksport energii elektrycznej z Niemiec i Czech.
- 2) Podobne potrzeby w większej liczbie krajów Europy Środkowej.
- 3) Kraje te mają dwa możliwe sposoby wytwarzania energii elektrycznej: połączenie gazu i energii odnawialnej lub połączenie energii jądrowej i odnawialnej.
- 4) Przejście na niskie emisje CO₂ nie jest możliwe bez źródeł jądrowych.
- 5) Jeśli zmiany klimatu są rzeczywiście dokonywane przez antropogeniczny CO₂, elektrownie gazowe nie są rozwiązaniem.
- 6) Słowacja, Węgry i Czechy mają reaktory WWER-440 z lat 80. Powinny pracować przez 60 lat. Niemcy i Austria będą protestować. Wzajemne wsparcie Czwórki Wyszegradzkiej byłoby bardzo pożądane.
- 7) Budowa nowych reaktorów potrzebna jest w Czechach, na Słowacji, na Węgrzech i w Polsce.

Ważny warunek dla Europy Środkowej

- 1) Aby znaleźć optymalny model finansowy – współpraca krajów Europy Środkowej.
- 2) Doświadczenie w budowie i eksploatacji. Potrzebne są działające bloki.
- 3) Licencja UE i doświadczenie w Europie: Hanhikivi, Paks, Bradwell...
- 4) Współpraca krajów Europy Środkowej jest bardzo ważna.
- 5) Reaktory o mocy bliskiej 1000 MWe dla Czech i Słowacji, Polska ma dostęp do morza, więc możliwa jest większa moc (możliwe są również reaktory o mocy 1,7 GWe).

- 6) Budowa z maksymalnym udziałem firm EŚW i ekspertów z Europy Środkowej.
- 7) Ważna jest możliwość udziału firm EŚW w przyszłych projektach.
- 8) Więcej zamówień prowadzi do niższych cen.

Oferowane reaktory III generacji

- 1) Współczesność – przejście do zaawansowanych reaktorów. Zwiększenie bezpieczeństwa.
- 2) Modułowa i seryjna produkcja komponentów – bardziej efektywna i tańsza – dla każdego modelu stosuje się wielu różnych dostawców.
- 3) Westinghouse AP-1000 – 4 bloki pracują (Chiny), 2 w budowie (USA).
- 4) Południowo-Koreański AP-1400 (APR-1000) – 2 bloki pracują, 7 w budowie, licencja europejska i amerykańska.
- 5) Blok AREVA EPR – 2 bloki pracują, 4 w budowie (Finlandia, Francja i Wielka Brytania), licencja europejska.
- 6) Chiński Hualong One – 8 w budowie, licencja w przygotowaniu w Europie (GB).
- 7) Rosyjski WWER-1200 – 3 bloki uruchomione, 7 w budowie (Rosja, Białoruś, Turcja). Budowa jest w przygotowaniu w Finlandii i na Węgrzech.

Kiedy będzie dostępny mały reaktor modułowy (SMR)?

- 1) Pływająca elektrownia jądrowa Akademik Łomonosow – urządzenie specjalne.
- 2) Wiele projektów, rozpoczęcie licencjonowania przyszłych reaktorów i instalacji, ale wciąż nie rozpoczęto prawdziwej budowy.
- 3) Należy być gotowym do budowy SMR, ale nie można zbyt długo czekać.
- 4) SMR otworzy możliwości budowy dla jednostek grzewczych i zdecentralizowanych, ale klasyczne jednostki nadal będą najlepsze dla dużych elektrowni.
- 5) Ważne – zaangażowanie w rozwój projektów tych urządzeń – Czeski Koncern Energetyczny ÚJV Řež a.s.

Wnioski

- 1) Europejskie wycofanie się z wykorzystania węgla do produkcji energii elektrycznej jest oczywiste.
- 2) Import energii elektrycznej w dni bez wiatru i słońca nie będzie możliwy.
- 3) Przejście Europy Środkowej na energię bezemisyjną – naprawdę potrzebna jest nowa energia jądrowa.
- 4) Zaawansowane reaktory – pierwsze doświadczenie w pracy (pierwsza wymiana paliwa) – każdy model ma zalety, a także wady.
- 5) Doświadczenie przy budowie reaktorów w Europie jest ważne dla Europy Środkowej, licencja UE.
- 6) Udział przemysłu i ekspertów z Europy Środkowej jest bardzo ważnym warunkiem rozwoju energetyki jądrowej w EŚW.

Juan Carlos Lentijo, IAEA Deputy Director General Department of Nuclear Safety and Security przedstawił na Kongresie referat pod tytułem: IAEA Activities to Support Safety for Entire Lifecycle of Nuclear Power Plants. W końcowej części prezentacji znalazły się następujące stwierdzenia dotyczące SMR.

Aktualne wyzwania

- Duża liczba innowacyjnych projektów
- Niesprawdzona technologia
 - Wszelkie/stronne/kompleksowe analizy, symulacje i testy potrzebne do uzupełnienia braków wiedzy
 - Nowa filozofia projektowania
 - Nowe materiały
 - Nowe strategie systemów bezpieczeństwa
- Brak doświadczenia operacyjnego
- Procesy regulacyjne należy odpowiednio dostosować
 - Zasady i przepisy
 - Wymagania bezpieczeństwa i przewodniki/instrukcje.

Ogólne podejście

- Podjęcie działań w celu ustanowienia ram bezpieczeństwa i licencjonowania dla SMR w państwach członkowskich.
 - Należy postępować zgodnie z zasadą „top down”: od ogólnego celu bezpieczeństwa, do szczegółowych kwestii technicznych opartych na podstawowych zasadach i standardach bezpieczeństwa MAEA,
- Badania dotyczące zastosowania norm bezpieczeństwa MAEA do SMR:
 - Neutralne technologicznie,
- Zasady projektowania dotyczące obrony w głąb, marginesów bezpieczeństwa, barier fizycznych, rozważań dotyczących niezależności i ochrony barier, redundancji i niezależności itp.
 - Specyficzne dla technologii,
- Ocena wymagań projektowych dla SMR chłodzonych lekką wodą i gazem.
- Zastosowanie stopniowanego podejścia.



Fot. 1. Andrzej Chmielewski dyr. IChTJ wygłasza referat na temat Nowe metody oczyszczania płynnych odpadów jądrowych

W Kongresie brał udział dyrektor IChTJ prof. Andrzej Chmielewski. Prof. Chmielewski wygłosił referat na temat New Methods for Treatment of Liquid Nuclear Waste: Metal-ion Selective Inorganic Sorbents. Współautorkami referatu były Danuta Wawszczak i Dagmara Chmielewska – Śmietanko.

Poniżej przytoczono główne tezy referatu

Wielka niespodzianka – brak sorbentu dla wody morskiej zanieczyszczonej ceszem z NPP w EJ w Fukushima.

- Chemia odgrywa ważną rolę w bezpiecznym funkcjonowaniu elektrowni jądrowych, zbiornikach na wypalone paliwo jądrowe i ich powtórny przetwarzaniu, przetwarzaniu i unieszkodliwianiu odpadów promieniotwórczych, migracji zanieczyszczeń radioaktywnych do środowiska.
- Reakcje fizykochemiczne i ich produkty są ważnym mechanizmem wypadków jądrowych, które należy obserwować i badać.
- Pamiętaj, że nauki chemiczne rozwijają się z roku na rok.

W ostatnim slajdzie prezentacji zamieszczono następujące przesłanie do użytkowników Kongresu:

- Konstruktorzy i budowniczowie elektrowni jądrowych powinni zawsze współpracować z naukowcami i śledzić najnowsze osiągnięcia w tej dziedzinie.
- Wiedza z zakresu chemii jest bardzo ważnym czynnikiem przy budowie i eksploatacji elektrowni jądrowych.
- Nie należy traktować technologii jądrowej jak zwykłego biznesu, takie traktowanie to był powód, dla którego nie byliśmy gotowi na zapobieganie wypadkom i ich skutkom.

Prof. Andrzej Chmielewski był podczas Kongresu uczestnikiem dyskusji panelowej na temat: „Przyspieszenie likwidacji obiektów jądrowych i gospodarki odpadami promieniotwórczymi w krajach Europy Środkowo-Wschodniej: strategia i praktyka”.



Fot. 2. Prof. Andrzej Chmielewski zabrał głos podczas panelu o likwidacji obiektów jądrowych i gospodarki odpadami promieniotwórczymi w krajach Europy Środkowo-Wschodniej

W swoim wystąpieniu prof. Chmielewski przypomniał, czym jest The European Green Deal – plan działania na rzecz zrównoważenia gospodarki UE poprzez przekształcenie wyzwań klimatycznych i środowiskowych w szansę we wszystkich obszarach polityki oraz sprawienie, by transformacja była sprawiedliwa i sprzyjała wszystkim.

Prof. Andrzej Chmielewski podkreślił, że „Przemysł jądrowy nie ma wyboru – musi zaakceptować tę strategię”.

Profesor swoje wystąpienie zakończył apelem:

Trzeba pamiętać!

Jeśli dzisiaj przerób paliwa jądrowego nie jest opłacalny, z uwagi na niskie ceny uranu, to coś z tego, przerób większości odpadów nie jest dzisiaj ekonomicznie uzasadniony. Jeśli policzymy koszty produkcji, to nadal wykorzy-

stanie świeżych surowców jest zazwyczaj prostsze i tańsze. Jednakże mimo to każdy z nas musi segregować śmieci. Wszystkie przemysły w Europie muszą spełniać wymogi stawiane przez „Circular Economy” (gospodarkę o obiegu zamkniętym). A zatem przemysł jądrowy musi też o tym pamiętać i nie przespać tej ważnej w jego rozwoju chwili.

Z materiałów Kongresu wybrał, przetłumaczył i zredagował
Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

60-LECIE PTJ

Jak już wielokrotnie pisaliśmy na łamach PTJ, nasze czasopismo powstało w 1957 r. Przez pierwsze dwa lata ukazywało się pod tytułem „Postępy Techniki Reaktorowej”. Pierwszy numer „Postępów Techniki Jądrowej” ukazał się w roku 1959. A więc w ubiegłym roku (2019) minęło 60 lat istnienia Postępów Techniki Jądrowej.

Ani redakcja, ani wydawca nie celebrowały tego jubileuszu.

Znalazł się jednak człowiek, który o rocznicy PTJ pamiętał. Jest nim docent Tadeusz Michałowicz wybitny specjalista z zakresu ochrony radiologicznej, wieloletni pracownik CLOR-u i autor wielu publikacji w PTJ.

Poniżej publikujemy list doc. Tadeusza Musiałowicza, przepraszając Go za kilkumiesięczne opóźnienie.

Co zawdzięczam czasopismu „Postępy Techniki Jądrowej”

W związku ze zbliżającym się 60-leciem Postępów Techniki Jądrowej chciałem podkreślić jak ważnym było dla mnie to, że prawie od początku mojej pracy w dziedzinie ochrony radiologicznej (1956 r.) mogłem korzystać z gościnności łatwo dostępnych Postępów Techniki Jądrowej i upowszechniać w nim moje wiadomości.

Na wstępie wymienię moje zapamiętane publikacje, a było ich naprawdę trochę.

Wydawnictwa książkowe			
Lp.	Autor	Tytuł	Rok
1.	R. Broszkiewicz, T. Musiałowicz	„Fotograficzne i Chemiczne Metody Dozymetrii Promieniowania Jonizującego” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ 19(190) 1964
2.	T. Jurzysta, T. Musiałowicz, J. Supliński	„Przepisy Prawne Dotyczące Ochrony Przed Promieniowaniem” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ 73(586) 1975
3.	T. Musiałowicz	Narażenie na Promieniowanie Jonizujące i Dopuszczalne Dawki” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ 75(588) 1975
4.	T. Musiałowicz	„Obliczanie Dawek i Osłon przy Narażeniu Zewnętrznym” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ 79(603) 1976

Publikacje w czasopiśmie PTJ			
Lp.	Autor	Tytuł	Rok
1.	J. Jaskulski, T. Musiałowicz	„Ocena Narażenia Ludzi w Przypadku Awarii w Pracowni Izotopowej II- kategorii” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ. 1958?
2.	T. Musiałowicz	„Fotograficzna Metoda Określanie Ilości i Jakości Promieniowania X i Gamma Stosowana przy Kontroli Narażenia Indywidualnego” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ. nr 9(45) 1960
3.	T. Musiałowicz	„Światowy Rozwój Poglądów na Wartości Największych Dopuszczalnych Dawek Promieniowania” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ. nr 12. 1968
4.	T. Musiałowicz, J. Wysopolski	„10 Lat Kontroli Dawek Indywidualnych w Polsce” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ. nr 12. 1968
5.	T. Musiałowicz	„Pokojowe Zastosowania Podziemnych Wybuchów Jądrowych” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ. nr 13. 1969
6.	T. Musiałowicz	„Stosowanie Źródeł Promieniowania Jonizującego w Świetle Aktualnych Przepisów Krajowych” Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej	PTJ. nr 14. 1970

7.	T. Musiałowicz	„Ostrożnie z Rewolucją w Ochronie Radiologicznej”	PTJ, nr 3 – 2000
	T. Musiałowicz	Czy rewolucja w ochronie przed promieniowaniem jest konieczna?	PTJ, nr 3 – 2003
8.	T. Musiałowicz	„Historia Wprowadzania Przepisów Transportu Materiałów Promieniotwórczych”	PTJ, nr 2 – 2010
9.	T. Musiałowicz	„Początki Przepisów z Zakresu Ochrony przed Promieniowaniem w Polsce”	PTJ, nr 4 – 2010
10.	T. Musiałowicz	„Dyrektywa Rady Unii Europejskiej 2013/59/Euratom”	PTJ, nr 4 – 2014
11.	T. Musiałowicz	„Międzynarodowe Podstawowe Normy Ochrony przed Promieniowaniem i Bezpieczeństwa Źródeł Promieniotwórczych”	PTJ, nr 3 – 2015
12.	T. Musiałowicz	„Ochrona Ludności w Pomieszczeniach przed Narażeniem od Radonu i Innych Naturalnych Źródeł Promieniowania”	PTJ, nr 3 – 2016
13.	T. Musiałowicz	„Ocena Lokalizacji Obiektów Jądrowych”	PTJ, nr 2 – 2017

Korzystając z gościnnych łamów PTJ (poz. 12 i 13 powyżej) mogłem upowszechnić istotną dla mnie prawdę historyczną. Mianowicie w Polsce panuje powszechna opinia, że w PRL-u nie można było nic istotnego zrobić wbrew propozycji ZSRR. Otóż nie zawsze, w roku 1962 Polska otrzymała od Stałej Komisji Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej projekty dwóch dokumentów: **Jednolite Normy Bezpieczeństwa Radiacyjnego i Przepisy Pracy z Materiałami Promieniotwórczymi**. Krajowy Komitet Ochrony Radiologicznej powierzył przygotowanie opinii o projektach J. Linieckiemu z Instytutu Medycyny Pracy i T. Musiałowiczowi z CLOR. Projekty będące adaptacją przepisów radzieckich zostały przez nas zaopiniowane negatywnie (polskie przepisy opracowywałem wówczas w oparciu o przyjęte na „zachodzie” zalecenia Międzynarodowej Komisji Ochrony Radiologicznej ICRP). Rozpoczęły się kilkuletnie spory dyskusyjne w ramach pracy grupy roboczej RWPG. W protokołach z posiedzeń często pojawiało się zdanie: „odrębne stanowisko delegacji polskiej”. W końcu udało się doprowadzić do tego, że Komisja wycofała projekty, a Komitet Wykonawczy RWPG podjął decyzję przyjęcia i stosowania przepisów Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) ONZ. A więc nie tylko nie wprowadzono w Polsce przepisów radzieckich, ale udzielono pomocy w poprawieniu, po naszej myśli przepisów w ZSRR. Także radzieckie przepisy transportu materiałów promieniotwórczych znacznie różniły się od przyjętych na „zachodzie” i projektu przepisów IAEA. Delegat ZSRR, (autor przepisów radzieckich) chciał doprowadzić do ich przyjęcia przez IAEA. Po wielu dyskusjach w Wiedniu i w Warszawie udało się także doprowadzić do przyjęcia przepisów ujednoliconych. Dyskusje nasze z delegatami ZSRR odbywały się w bardzo dobrej roboczej atmosferze.

Do tego sukcesu w dziedzinie ochrony radiologicznej Polski i pozostałych krajów RWPG oraz do satysfakcjonującego w skali międzynarodowej ujednolicenia przepisów transportowych, doprowadziliśmy dzięki osobistemu zaangażowaniu w te prace, dyrektora Zespołu Ochrony Przed Promieniowaniem Pełnomocnika Rządu ds. Wykorzystania Energii Jądrowej, mgr inż. Juliana Rotnickiego. Bez jego organizacyjnej pomocy niczego bym nie załatwił.

Wszystko to z drobnymi szczegółami omówione zostało na łamach PTJ.

W 1970 r. (mimo że, byłem głównym oponentem wprowadzenia przepisów sowieckich) otrzymałem za wkład pracy pisemne, imienne podziękowanie od Komisji RWPG.

W 2005 r. IAEA otrzymała pokojową nagrodę Nobla za całokształt prac w dziedzinie pokojowego wykorzystania energii jądrowej i przysłała z tej okazji do mnie pismo z podziękowaniem za współudział w jej pracach.

W Polsce, poza Dyplomem PTJ, otrzymanym z okazji 50-lecia Postępów Techniki Jądrowej, nikt mi nie podziękował.

*Tadeusz Musiałowicz,
emerytowany pracownik,
Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej,
Warszawa*

DEBATA SEJMOWA: "ATOM – TECHNOLOGIA JUTRA CZY PRZESZŁOŚCI?"

W dniu 4 marca 2020 r. odbyła się w Sejmie debata pt. „Atom – technologia jutra czy technologia przeszłości?” organizowana przez panią posel Urszulę Zielińską z Partii Zieloni. W czasie posiedzenia pan Mycle Schneider omówił dokument pt. „Raport o stanie światowego przemysłu jądrowego 2019”, którego jest jednym z dwóch prowadzących autorów. Fragmenty raportu zostały wydane w języku polskim przez Instytut na rzecz Ekorozwoju i Fundację im. Heinricha Bölla w Warszawie. W ponad godzinny wystąpieniu prelegent przedstawił zasadnicze informacje zawarte w raporcie i zakończył konkluzjami, które przedstawił na końcowej planszy (w języku angielskim):

WNISR2019 CONCLUSIONS

- For the first time the average age of world nuclear fleet exceeds 30 years.

In 2018

- Nuclear power added 9 GW to the world's power grids to reach a record 370 GW, while renewables added a record 165 GW (wind and solar cumulate >1,000 GW total);
- Nuclear power generation increased by 2,4%, wind by 29%, solar by 13%;
- 10 of 31 nuclear countries generate more power with renewables than with nuclear.

In 2019

- Nuclear construction down to a trickle with 4 start vs. 15 in 2010;
- 5 Starts / 5 Closures

- Construction times average 10 years over the past decade.
- The cost of new nuclear have increased by 26%, while solar costs decrease by 89% and wind by 70%.
- Fighting the climate emergency requires to invest into effective strategies combining speed and competitive costs to drastically reduce emissions. Nuclear power turns out not only the most expensive, but the slowest option to generate "low-carbon" electricity and to provide essential energy services.

Plansza pokazuje zasadnicze argumenty popierające wniosek wynikający z przedstawionego raportu, że „Atom nie jest odpowiedzią na zmianę klimatu”, jak zatytułowano relację z tej debaty na portalu chronmyklimat.pl. Stwierdzenia te mogą być uznane za słuszne przez osoby spoza branży, a jeszcze gorzej przez podejmujących decyzję polityków. Natomiast, gdy zastanowimy się tylko nad przedstawionymi liczbami, to można mieć do nich szereg dalej wymienionych zastrzeżeń.

- 1) Rzeczywiście średni czas eksploatacji reaktorów przekroczył 30 lat, ale dotyczy to reaktorów budowanych w latach 1970-1990 w krajach rozwiniętych technologicznie i stanowi potwierdzenie bezpiecznej ich konstrukcji pierwotnie przewidywanej na 30-40 lat. Obecnie czas ten przedłuża się i uzyskują one odpowiednie zezwolenia urzędów dozoru jądrowego w swoich krajach. Poza tym obserwuje się powszechną tendencję zwiększania mocy jednostkowych, co wraz z poprzednim stwierdzeniem powoduje, że w tych krajach nie ma potrzeby nowych inwestycji. Wyjątkiem jest tu Wielka Brytania, gdzie ma miejsce zastępowanie pierwszych reaktorów energetycznych o niskiej mocy. Natomiast w Niemczech trwa proces programowego wyłączania sprawnych technicznie reaktorów z powodów politycznych. Wiek eksploatowanych reaktorów nie może być argumentem przeciw energetyce jądrowej, której udział stanowi istotny wkład w produkcję energii elektrycznej.
- 2) W 2018 r. rzeczywiście zwiększono moc wszystkich reaktorów o 10,4 GWe (według danych MAEA/PRIS), a nie o 9,0 GWe, natomiast moc całkowita wynosiła 396,6 GWe, a nie 370 GWe (różnica wynika z odliczenia mocy reaktorów Japonii pozostających w długotrwałym stanie wyłączenia od czasu awarii w EJ Fukushima), co miało pokazać znaczną obniżkę mocy zainstalowanej w energetyce jądrowej na świecie w ostatnich latach.
- 3) Podany wzrost zainstalowanej mocy źródeł OZE wynoszący 165 GW jest imponujący w porównaniu ze wzrostem w elektrowniach jądrowych wynoszącym 9 GW, ale należy porównywać nie moc, a ilość wyprodukowanej energii. Dla elektrowni jądrowych wynosiła ona 2 563 TWh, a dla wiatru 1 270 TWh i słońca 585 TWh (rys. 25). Liczby te trzeba porównywać z ogólnie wytwarzaną energią elektryczną ze wszystkich źródeł i dodatkowo trzeba pamiętać, że dla energetyki jądrowej energia ta dostarczana jest przez 24 godziny na dobę, a dla innych źródeł, tylko gdy wieje wiatr lub świeci słońce (stwierdzenia prelegenta, że można korzystać z rezerwowych elektrowni szczytowo-pompowych zapominając o sprawności tego procesu magazynowania energii lub że za 10 lat będą dostępne ogromne magazyny energii, są mało wiarygodne).
- 4) Podawane wzrosty produkcji przez poszczególne źródła energii w procentach dla elektrowni jądrowych 2,4%, wiatrowych 29% i słonecznych 13% (przypuszczalnie w odniesieniu do poprzedniego roku) nie dają właściwego porównania. Wzrosty należy podawać w jednostkach fizycznych (TWh) i dopiero wtedy otrzymuje się wiarygodny obraz zmian dla różnych źródeł energii elektrycznej.
- 5) Podanie informacji, że w 10 z 31 krajów posiadających energetykę jądrową wyprodukowano więcej energii z OZE niż z reaktorów jądrowych, aż prosi się, by podać, o jakie kraje chodzi, by czytelnik mógł ocenić, czy są to kraje rozwinięte, czy rozwijające się i jaka jest to różnica w liczbach bezwzględnych (TWh).
- 6) Porównanie zmniejszenia liczby rozpoczynanych inwestycji w konkretnych dwóch latach wymaga wyjaśnienia. Chodzi, w tym przypadku o 2010 rok, w którym od dwóch lat wcześniej obserwowany był znaczny wzrost nowych inwestycji (konkretnie 16 bloków, a nie 15 jak podano) i działa to się przed awarią w EJ Fukushima w porównaniu do 2019 r. (osiem lat po awarii), kiedy rozpoczynano budowę 3 (a nie 4 bloków). Natomiast w międzyczasie rozpoczynano budowy od 3 do 10 bloków rocznie. Takie porównanie sugeruje, że w kolejnych latach zmniejszała się liczba nowych inwestycji (z 15 do 4), a wcale tak nie było.
- 7) Podano liczbę po 5 nowych i 5 wyłączanych bloków w 2019 r., ale to wymaga korekty, gdyż włączono 6 nowych bloków (w tym 2 o małej mocy 32 MWe w rosyjskiej pływającej elektrowni), a wyłączono 8 bloków. W tej statystyce nie jest istotna liczba, a moc nowych bloków III generacji wynosząca 5,2 GW wobec mocy 5,4 GW wyłączanych starszych bloków należących II generacji. MAEA podaje, że wyłączono bloki o mocy 10,4 GWe, ale obejmuje ona moc 5 bloków w Japonii wyłączonych od czasu awarii w EJ Fukushima, dla których stwierdzono nieopłacalność wprowadzenia niezbędnych modernizacji, by można je było ponownie uruchomić. Zatem ogólna moc elektrowni na świecie uległa tylko niewielkiemu zmniejszeniu.
- 8) Podanie średniego czasu budowy równego 10 lat w ostatniej dekadzie jest mylące, gdyż obejmuje on okres przedłużenia budowy wynikający z wprowadzenia niezbędnych zmian konstrukcyjnych wymaganych przez urzędy dozoru jądrowego po awarii w EJ Fukushima. Zatem średni czas budowy należało wyliczyć dla bloków, których budowa rozpoczęła się po 2011 r., a może, zamiast średniego czasu należało podać minimalny i maksymalny czas budowy.
- 9) Podanie zmiany kosztów budowy poszczególnych źródeł energii (wzrost o 26% dla reaktorów jądrowych i spadki o 89% dla fotowoltaiki i o 70% dla wiatru) w procentach jest typowym zabiegiem propagandowym. Można podawać zmianę kosztów, ale trzeba podać, do czego się ona odnosi (pierwotne planowane koszty, przewidywane koszty w 2018 r. lub do jeszcze innej wielkości), podać moc poszczególnych porównywanych źródeł energii. A najważniejsze, że dla energetyki jądrowej prowadzi się inwestycje na około 60 lat eksploatacji, a dla OZE (wiatr i fotowoltaika) tylko na 20 lat, czyli okres trzykrotnie krótszy i wymagają one zapewnienia rezerwowych źródeł mocy (np. elektrownie szczytowo-pompowe, zasilane gazem). Czy ten czynnik został uwzględniony w podanych kosztach, tego nie wiadomo?

Tyle znalazłem uwag do liczb podanych jedynie na jednej, końcowej planszy, a co będzie, gdy wnikliwy czytelnik zapozna się z całym raportem, to trudno pomyśleć.

Przedstawione liczby uzasadniają stwierdzenie autorów raportu, że energetyka jądrowa jest najkosztowniejsza i wprowadzenie jej zajmuje najwięcej czasu ze wszystkich technologii niskoemisyjnych, ale budzą one wskazane wątpliwości. Końcowy wniosek z raportu o konieczności walki ze zmianami klimatycznymi poprzez inwestycje w najbardziej efektywne technologie jest słuszny, ale obecnie wiadomo, że nie może to być tylko jedna technologia, jaką są odnawialne źródła energii (OZE).

Temat debaty wzbudził ogromne emocje i zadano prelegentowi szereg pytań, natomiast ww. uwagi skupione są tylko na ostatecznych wnioskach. Poza tym, jeśli to miała być rzetelna debata, to prezentacja powinna spotkać się z koreferatami i na dyskusję należało przewidzieć więcej czasu, a nie kończyć ją, bo w sali rozpoczynało się już inne spotkanie.

Cały raport w j. angielskim dostępny jest pod adresem: <https://www.worldnuclearreport.org/IMG/pdf/wnsr2019-v2-hr.pdf>, natomiast wybór fragmentów w j. polskim pod adresem: <https://www.pine.org.pl/wp-content/uploads/2020/03/RaportEJ2019.pdf>

Andrzej Mikulski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa



ENERGIA DLA KLIMATU

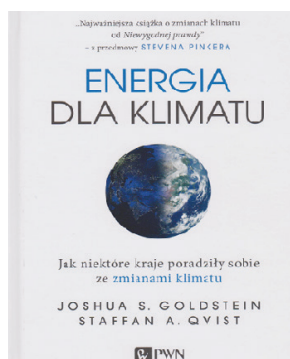
Jak niektóre kraje poradziły sobie ze zmianami klimatu

Wydawnictwo PWN Warszawa 2019

Tytuł oryginału: **A BRIGHT FUTURE How Some Countries Have Solved Change and the Rest Can Follow**

Tłumaczenie: Agnieszka Adamczyk

Aleksander Humboldta przyrodnik i podróżnik jeden z twórców nowoczesnej geografii, ekologii w czasie podróży do Ameryki łacińskiej (1799 – 1804) badając zjawiska przyrodnicze, doszedł do wniosku, że natura tworzy sieć życia, w którym rośliny, zwierzęta i ludzie są zależne od siebie, stanowiąc zamknięty układ. Twierdził, że ludzkość powinna zrozumieć, jak prawa natury łączą oczka tej sieci i ludzie nie mogą zmieniać świata według swojej woli zakłócając system niezgodnie z jego prawami niszcząc środowisko co musi doprowadzić do katastrofy.



Fot.1. Projekt okładki Pete Garceau

Do podobnych wniosków doszli współcześni uczeni. James Lovelock i Lynn Margulis w latach 70 XX wieku formułując tzw. Hipotezę Gai przypisującą planecie Ziemi własności żywego organizmu, w którym wszystkie systemy biosfery, atmosfery, oceanów, gleby działają wspólnie, aby zachować optymalne warunki do życia. Działalność człowieka nie może zakłócać tego działania.

Autorzy ENERGII DLA KLIMATU przychylają się do tezy, że spalanie węgla, ropy i gazu zakłóciło naturalny system obiegu węgla w naturze i w atmosferze. Jest go więcej, niż przyroda może zneutralizować. Uważają oni, że Świat znajduje się na skraju katastrofy ekologicznej prowadzącej do jego zagłady. Sygnałem poważnych zmian są obserwowane i przewidywane zjawiska: częste gwałtowne huragany, powodzie, susze, pożary lasów, fale. Zanikanie lodowców zmniejsza powierzchnię od-

bijającą światło słoneczne, przyspieszając postępujące ocieplenie, a w obszarach podbiegunowych może mieć dodatkowo wpływ na prądy oceaniczne. Rozmrożenie wiecznej zmarzliny może uwolnić metan.

Książka ENERGIA DLA KLIMATU jest solidnie udokumentowaną publikacją popularnonaukową omawiającą różne zagrożenia, które mogą wpłynąć na zmiany klimatu i jakie ogólnosiwiatowe działania należy podjąć, by uzyskać (niestety w odległym czasie), chociaż częściowe ograniczenie skutków zmian. Jednym z warunków jest ograniczenie (aż do zupełnej eliminacji) spalania paliw kopalnych przy zachowaniu rozwoju gospodarczego i jego rozwój w rejonach mniej rozwiniętych.

Ponieważ uważa się, że spośród mieszaniny gazów cieplarnianych najważniejszy jest dwutlenek węgla, autorzy skoncentrowali swoją uwagę na omówieniu rozwiązań prowadzących do ograniczenia jego emisji. Naturalna emisja dwutlenku węgla jest neutralizowana przez naturalne procesy: fotosyntezę, wietrzenie skał. Jego stężenie w powietrzu przed epoką industrialną (przed rokiem 1750) wynosiło około 170 -280 (ppm), obecnie wynosi około 410 (ppm). Dwutlenek węgla utrzymuje się w atmosferze przez stulecia i nawet gdyby od zaraz zaprzestąć jego uwalnianie, obecne stężenie jeszcze długo, miałoby wpływ na ocieplenie. Dlatego proponuje się ograniczenie jego uwalniania do atmosfery do jak najniższego poziomu, by chociaż utrzymać obecny stan uważany już za niebezpieczny.

Problemem utrudniającym ograniczenie emisji dwutlenku węgla jest wzrastające zapotrzebowanie na energię nie tylko w krajach rozwiniętych, ale rozwijających się gdzie jeszcze nie ma energii elektrycznej, a bez której nie może być postępu gospodarczego i cywilizacyjnego. Najtańszym sposobem uzyskania energii elektrycznej w tych rejonach jest spalanie paliw kopalnych głównie węgla. W książce ENERGIA DLA KLIMATU przeprowadzono rozległą analizę różnych propozycji. Analizę rozpoczęto od przedstawienia dwóch rozwiązań systemów energetycznych Szwecji i Niemiec. W Szwecji rozwinięto energetykę jądrową i hydroenergetykę eliminując całkowicie spalanie paliw kopalnych powiązanych nie tylko z emisją dwutlenku węgla, ale i elementów zanieczyszczających atmosferę i środowisko. W Niemczech postanowiono wycofać się całkowicie z energetyki jądrowej, zastępując ją odnawialnymi źródłami energii głównie energetyką wiatrową i słoneczną. W Niemczech powstała największa w Europie elektrownia słoneczna i liczne elektrownie wiatrowe. Zastąpienie źródła bezemisyjnego innym również bezemisyjnym źródłem nie ma wpływu na ochronę klimatu. Energetyka w Niemczech jest zdominowana przez spalanie paliw kopalnych głównie przez spalanie węgla brunatnego charakteryzującego się wysoką emisyjnością dwutlenku węgla.

Dużo uwagi poświęcono problemowi czy możliwości zaspokojenia zapotrzebowania na energię elektryczną przy wykorzystaniu tylko odnawialnych źródeł energii. Przedstawiono analizy każdego rodzaju źródła: hydroenergetykę, energetykę wiatrową, słoneczną omawiając ich zalety, ale i trudności związane z zajmowanym przez nie obszarem, kosztami, nieregularnością produkcji energii oraz ze sposobem wykorzystania chwilowego nadmiaru energii i jej magazynowania w okresach koniecznej nieczynności (dni bezwietrzne, noc) lub jej przesyłu z innych aktualnie czynnych obszarów. Autorzy są zdania, że obecnie najważniejsza jest dekarbonizacja – odejście od używania paliw kopalnych, a hasło 100% energii z OZE jest propagandowym sloganem używanym do likwidowania energetyki jądrowej.

Przy rozpatrywaniu różnych możliwości ograniczenia emisji dwutlenku węgla proponowane jest wykorzystanie do produkcji energii elektrycznej gazu ziemnego – metanu, przy spalaniu którego powstaje około 50% mniej dwutlenku węgla. Zmiana paliwa z węgla na metan spowoduje wyraźne obniżenie emisji dwutlenku, co jest szczególnie korzystne przy konieczności szybkiego obniżenia jego emisji, ale po zakończeniu transformacji dalsze obniżanie emisji tą metodą nie jest możliwe. W dyskusji przedstawiono również problemy ekonomiczne, polityczne i techniczne związane z wykorzystaniem paliwa gazowego.

Autorzy są zdecydowanymi zwolennikami wykorzystania energii jądrowej do produkcji energii elektrycznej. Są oni przekonani, że jest to najbezpieczniejszy sposób pozyskiwania energii elektrycznej i najkorzystniejszy z punktu widzenia zarówno ochrony środowiska przed jego degradacją, jak i ochrony zdrowia ludności poprzez brak emisji szkodliwych substancji. Bardzo szeroko omówiono zagrożenia związane energetyką jądrową, opisując największe dotychczasowe katastrofy w elektrowniach jądrowych, obawy przed promieniowaniem, zabezpieczenia przed

działaniami terrorystycznymi, rozprzestrzenianiem broni jądrowej, gospodarkę odpadami radioaktywnymi.

Autorzy są przekonani, że gdyby wszystkie kraje wykonały swoje zamierzenia w budowie energetyki jądrowej, byłby obecnie znacznie łatwiej powstrzymać zmiany klimatyczne. Realizacja tych planów została przerwana w różnych krajach z różnych powodów, a niedawno przyczyniła się do tego katastrofa w Fukushima. Realizacja bardzo ambitnych planów w Japonii została zahamowana, a w innych krajach zaczęto zastanawiać się nad wycofaniem z energetyki jądrowej. Mimo tej niesprzyjającej atmosferze powstają nowe projekty reaktorów energetycznych, toczą się prace nad syntezą jądrową.

Bardzo interesująco opisane są działania największych obecnie budowniczych energetyki jądrowej Rosji, Indii i Chin. W książce wspomniano również o geoinżynierii refleksyjnej polegającej na rozpylaniu w stratosferze aerozoli (lub drobiny siarki) mających odbijać część światła słonecznego. Pomysł jest oparty na obserwacji wybuchów wulkanów.

W książce podano bogatą bibliografię (29 stron) i przypisy wyjaśniające do każdego i rozdziału, alfabetyczny skorowidz rzeczowy.

Książka daje szeroki obraz rzeczywistych problemów związanych z ociepleniem klimatu, dotychczasowych starań i propozycji dalszych działań. Przeprowadzając analizy problemów, autorzy podają wiele bardzo aktualnych wiadomości dotyczących działań w różnych krajach z uwzględnieniem energetyki jądrowej. Wiele tych informacji jest trudno dostępnych i przeprowadzone porównania mają charakter dydaktyczny.

Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów na
Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa



ZMARŁ ANDRZEJ FURTEK, BYŁY WIELOLETNI PRACOWNIK PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

(1954-2020)



Fot. 1. Andrzej Furtek

W dniu 23 stycznia 2020 r. zmarł Andrzej Furtek, były wieloletni pracownik Państwowej Agencji Atomistyki, ekspert do spraw międzynarodowych i współpracy w ramach traktatu Euratom.

Andrzej Furtek był absolwentem Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Bezpośrednio po ukończeniu studiów pracował w Zakładach Aparatury Mikrofalowej „WILMER” Przedsiębiorstwie Państwowym Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Następnie w Instytucie Energii Atomowej w Świerku.

Od 1997 r. pracował w Instytucie Energii Atomowej oraz zatrudniony był w Państwowej Agencji Atomistyki jako informatyk w Departamencie Nauki i Techniki. Od 2006 r. pracował w Departamencie Współpracy z Zagranicą i Integracji Europejskiej PAA realizując zadania związane z obsługą członkostwa Rzeczypospolitej Polskiej w organizacjach międzynarodowych oraz koordynował współpracę z Europejską Wspólnotą Energii Atomowej.

Andrzej Furtek koordynował przygotowanie polskiej prezydencji w Radzie Unii Europejskiej w ramach działań związanych z bezpieczeństwem jądrowym. Przez wiele lat pełnił funkcję przedstawiciela Polski w Grupie Roboczej Rady UE ds. kwestii atomowych (WPAQ – Working Party on Atomic Questions) uczestnicząc w tworzeniu regulacji unijnych w zakresie ochrony przed promieniowaniem jonizującym.

W późniejszych latach zajmował stanowiska eksperta w Gabinetach Prezesa i w Departamencie Bezpieczeństwa Jądrowego i Programów Międzynarodowych.

Redakcja PTJ



POŻEGNANIE PROF. DR HAB.
N. MED. ZBIGNIEWA SZOTA
(1925-2020)



Fot. 1. Prof. n. med. Zbigniew Szot

Z żalem informujemy, że 11 lutego 2020 r. zmarł prof. dr hab. n. med. Zbigniew Szot wybitny specjalista z zakresu biochemii radiacyjnej. W latach 1950-1951 lekarz wojskowy w Krośnie Odrzańskim. Od 1955 r. związany z Instytutem Badań Jądrowych (IBJ) w Warszawie, gdzie początkowo zajmował się badaniami nad syntezą hemu i anhydry węglanowej w napromieniowanych zwierzętach. W roku 1957 ukończył kurs stosowania izotopów w badaniach biologicznych w Instytucie Szpitala Klinicznego w Moskwie. Od 1958 r. objął kierownictwo nad Pracownią Metabolizmu Radionuklidów IBJ (zwaną początkowo pracownią skażeń wewnętrznych), która pełniła ważne funkcje w ochronie personelu pracującego z otwartymi źródłami promieniowania (szkolenie pracowników, kontrola miejsc pracy i badanie skażeń). Zarówno zadania praktyczne, jak i działalność naukowa były nastawione na poznanie metabolizmu radionuklidów i sposobów usuwania skażeń wewnętrznych. Przedmiotem szczególnego zainteresowania badawczego były radionuklidy osteotropowe (odkładające się w kości). Najwięcej uwagi poświęcono wyjaśnieniu roli kwasu cytrynowego w metabolizmie kości. Analizą rentgenograficzną i analizą w podczerwieni wykazano, że kwas cytrynowy nie wchodzi do siatki hydroksyapatytu, lecz adsorbowany jest na jego powierzchni i uwięziony w przestrzeniach między kryształami. W normalnych stężeniach, spotykanych w krwi kwas cytrynowy hamuje proces kalcyfikacji. Przy małych stężeniach zwiększa kalcyfikację, lecz działanie to ograniczone jest metabolizmem komórek oraz procesami wpływającymi na stężenie wapnia. W roku 1959 mgr Zbigniew Szot obronił doktorat w Akademii Medycznej w Warszawie, a tematem pracy była „Zawartość anhy-

drazy węglanowej i cynku we krwi w stanach zdrowia i choroby”. W latach 1959-61 ukończył Podyplomowe Studium w Zakresie Chemii Jądrowej na Uniwersytecie Warszawskim. W latach 1961-1962 był stypendystą Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Instytucie Badań nad Rakiem w Londynie. W latach 1970-1978 aktywny członek i kierownik międzynarodowych projektów badawczych Zrzeszenia Laboratoriów Europejskich do Badań Późnych Skutków Promieniowania (EULEP). Uczestniczył w porównawczych eksperymentach, z których część znaczną wykonywał wspólnie z partnerami z zagranicy w Zakładzie Radiobiologii w Mol, w Belgii. W ramach tego projektu prowadzono również wspólne badania nad skutecznością zsyntetyzowanego w USA nowego związku chelatującego pluton. Kontynuowano badania nad chelatorami, które można by zastosować do usuwania radionuklidów z organizmu. Badano różne związki (np. kwasy poliaminopolikarboksyłowe) mające zastosowanie w usuwaniu plutonu. Poszukiwano skuteczniejszych związków detoksykacyjnych. W roku 1970 habilitował się, a wyniki badań przedstawił w pracy pt. „Pochodzenie oraz fizjologiczne znaczenie kwasu cytrynowego w kości”. W tym czasie zajmował się badaniem metabolizmu różnych radionuklidów. Między innymi ustalono kinetykę przechodzenia przez łożysko ^{65}Zn , ^{60}Co , i ^{59}Fe , co wydawało się ważne w przypadku stosowania tych radionuklidów u kobiet ciężarnych. Ustalono również zagrożenia od trytu. Prowadzono prace nad usuwaniem z organizmu transuranowców, a przede wszystkim plutonu, który cechuje się dużą radiotoksycznością. W okresie 1983-1990 prof. Szot kierował Zakładem Radiobiologii i Ochrony Zdrowia w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej (ICH TJ) oraz Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej. W roku 1986 uzyskał tytuł profesora. Po przejściu na emeryturę w latach 1990-2002 został kierownikiem Samodzielnego Laboratorium Identyfikacji Napromieniowania Żywności przy ICH TJ. Przyczynił się do opracowania sposobów wykrywania napromieniowania żywności metodami: kometową DNA, termoluminescencji i luminescencji stymulowanej światłem, jak również nowatorską metodą opartą na statystycznej ocenie stymulowanego wzrostu kiełków i korzonków nasion zawartych w żywności. W okresie pracy w Laboratorium opublikował kilka prac naukowych z tego zakresu oraz artykułów dotyczących inżynierii genetycznej. Autor ponad 30 publikacji naukowych i promotor wielu prac doktorskich. Członek Założyciel Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych (1967). Odznaczenia: Złoty Krzyż Zasługi (1972), Medal: Zasłużony dla Energetyki Jądrowej (1978), Medal: Marii Skłodowskiej-Curie Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych (2001). Żegnamy znakomitego uczonego i organizatora osobę niezwykle zasłużoną dla polskiej i światowej atomistyki.

w imieniu kolegów PTBR-u zredagował
Wojciech Głuszewski

UROCZYSTOŚĆ WRĘCZENIA PIERWSZEJ POLSKO-FRANCUSKIEJ NAGRODY NAUKOWEJ

Warszawa, 28 lutego 2020 r.



Laureaci pierwszej Polsko-Francuskiej Nagrody Naukowej:
prof. Jakub Zakrzewski i dr hab. Dominique Delande



Laureaci pierwszej Polsko-Francuskiej Nagrody Naukowej:
dr hab. Marcin Szwed i prof. Laurent Cohen



Od lewej: Wiceprezes Francuskiej Akademii Nauk, prof. Olivier Pironneau, prezes Zarządu Fundacji na rzecz Nauki Polskiej, prof. Maciej Żylicz, wicepremier i minister nauki i szkolnictwa wyższego, dr Jarosław Gowin, dr Frédéric Billet, Ambasador Francji w Polsce, prof. Wojciech Maksymowicz, wiceminister nauki i szkolnictwa wyższego

(Fot. Paweł Kula)

zob. więcej na str. 46

Maria Skłodowska-Curie – z mało znanych, faktów z życiorysu Marii



Maria Skłodowska-Curie (piąta od lewej) i Irena Curie (siódma od lewej) z grupą kobiet z Federação Brasileira para o Progresso Feminino, na tle „Głowy cukru” w Rio de Janeiro (Musée Curie, Paryż)



„Paparazzi” anno 1911: fotoreporterzy i Maria Skłodowska-Curie idąca na wykład (według czasopisma „Femina” z roku 1911)