

POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 61 Z. 3 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2018



Sterownia i nowe pompy w reaktorze badawczym MARIA

fot. Andrzej Mikulski

czytaj na str. 33

3-2018

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

PROGRAMY BADAWCZE W ZAKRESIE
ENERGETYKI JĄDROWEJ - PROWADZONE
OBECNIE I KONIECZNE DO URUCHOMIENIA
Stanisław Latek.....2

PIERWSZA POŁOWA 2018 ROKU W ŚWIATOWEJ
I POLSKIEJ ENERGETYCE JĄDROWEJ
Andrzej Mikulski8

DLACZEGO ODNAWIALNE ŹRÓDŁA
ENERGII NIE WYSTARCZĄ DLA POLSKI
Andrzej Strupczewski18

REAKTOR DWUPŁYNOWY
JAKO NOWA I REWOLUCYJNA
KONCEPCJA REAKTORA JĄDROWEGO
Mariusz P. Dąbrowski.....25

PRACE MODERNIZACYJNE W REAKTORZE MARIA
Andrzej Mikulski.....33

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH TYPÓW
ELEKTROWNI JĄDROWYCH GENERACJI III/III+
Małgorzata Klisińska, Łukasz Koszuc.....38

OSTATNIE DONIESIENIA Z CERNU
Małgorzata Nowina-Konopka42

DONIESIENIA Z KRAJU44

DONIESIENIA ZE ŚWIATA51

WYDARZENIA53

INFORMACJE O KSIĄŻKACH56

IN MEMORIAM57



więcej informacji na str. 33



Kwartalnik naukowo-informacyjny
Postępy Techniki Jądrowej

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

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

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

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

Współpracują z nami:
Andrzej Mikulski
Małgorzata Sobieszcza Marciniak
Małgorzata Nowina Konopka

Redakcja:
PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

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

Opracowanie graficzne:
Hubert Stańczyk (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.

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

Prenumerata
Zamówienia na prenumeratę kwartalnika
POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ
należy składać na adres redakcji jak wyżej.
Wpłaty proszę przekazać na konto:
Bank Pekao SA,
45 1240 3480 1111 0000 4278 2935
Koszt prenumeraty rocznej
(4 zeszyty łącznie z kosztami przesyłki) wynosi 50 zł.
Składając zamówienie należy podać adres osoby
lub instytucji zamawiającej, na który
ma być przesłane czasopismo oraz numer NIP.

Skład i druk:
Agencja Reklamowa TOP,
ul. Toruńska 148, 87-800 Włocławek

Szanowni Państwo

Swoją felieton wstępny do poprzedniego numeru PTJ zakończyłem słowami: „A po wakacjach z pewnością wrócimy do sprawy budowy elektrowni jądrowej w Polsce”.

Słowo się rzekło, a raczej napisało... Dlatego jednym z głównych artykułów bieżącego numeru jest tekst przygotowany przez dr. Andrzeja Mikulskiego pod tytułem: „**Pierwsza połowa 2018 r. w światowej i polskiej energetyce jądrowej**”. We wstępie do swojego artykułu autor pisze: „Przegląd sytuacji energetyki jądrowej na świecie na koniec 2017 r. zamieszczony na początku bieżącego roku w kwartalniku Postępy Techniki Jądrowej (nr 1/2018) wymaga aktualizacji już po pół roku, a konkretnie, po ośmiu miesiącach na koniec sierpnia 2018 r. Wynika to z trzech przesłanek: dostępnej obecnie uszczegółowionej analizy sytuacji energetyki jądrowej na świecie na koniec ubiegłego roku, licznych dokonanych i zapowiadanych uruchomieniach nowych bloków jądrowych (do końca tego i w następnym roku) oraz dokonanych zmian planów na dalsze lata. **Natomiast w Polsce, oficjalnie oczekiwana jest, stale odsuwana w czasie, decyzja dotycząca budowy pierwszej elektrowni jądrowej**”.

Zachęcając naszych Czytelników do przeczytania całego, bardzo ciekawego artykułu (str.8) polecam szczególnie te fragmenty tekstu, które dotyczą Polski i Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ). Osobiście w zasadzie podzielam opinię dra Mikulskiego, że „sytuacja w Polsce charakteryzująca się stałym odkładaniem decyzji w sprawie budowy pierwszej elektrowni jądrowej jest przedmiotem zaniepokojenia nielicznej grupy osób związanych od lat z techniką jądrową”. Pozwolę sobie jednak zauważyć, że zaniepokojenie, o którym pisze Andrzej Mikulski, wyrażają także inne szersze grupy społeczne. Jedną z tych grup są pracownicy naukowi i inżynierowie zatrudnieni w jednostkach naukowo-badawczych i na uczelniach, realizujący obecnie, lub w przeszłości, **programy badawcze w zakresie energetyki jądrowej**.

Niżej podpisany jest autorem artykułu (zamieszczonego jako pierwszy w tym numerze) właśnie na temat programów badawczych w zakresie energetyki jądrowej prowadzonych w Polsce w przeszłości, obecnie i koniecznych do uruchomienia w przyszłości. Szczegółowiej omówiono strategiczny projekt badawczy pod nazwą **Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej** realizowany w latach 2011-2014, a także obecnie realizowane programy wyprzedzające oraz projekty wspierające PPEJ. Dokonano podziału omawianych programów i zadań na krajowe, zadania wynikające z programów, bądź projektów europejskich oraz zadania realizowane pod auspicjami MAEA. Podano argumenty, **dla czego badania naukowe są ważne dla rozwoju energetyki jądrowej**. Przytoczono listę działań Ministerstwa Energii w zakresie rozwoju sektora naukowo-badawczego. Wyrażono nadzieję, że Ministerstwo Energii będzie nie tylko sprawować nadzór nad instytucjami, ale zaofiaruje im odpowiednie środki finansowe i stworzy warunki formalne ułatwiające realizację programów naukowo-badawczych w zakresie energetyki jądrowej. Autor artykułu dziękuje prof. Andrzejowi Chmielewskiemu za inspirację, zachętę i pomoc udzieloną przed i w trakcie przygotowywania omawianego tekstu.

Kolejny artykuł, którego autorem jest Andrzej Strupczewski, wyjaśnia **dla czego odnawialne źródła energii (OZE) nie wystarczą dla Polski**. Otóż wbrew twierdzeniom aktywistów przedstawiających energetykę wiatrową i słoneczną jako najtańsze źródła energii elektrycznej, bez dużych subsydiów ich rozwój ustaje, gdy tylko przerywane są dopłaty ustalone przez władze państwowe. W wielu krajach (Hiszpania, Włochy, Grecja, Czechy, Słowacja) względy finansowe zmusiły ich rządy do redukcji subsydiów, co spowodowało drastyczne zahamowanie budowy nowych instalacji OZE. Głównym powodem wysokich cen energii z OZE jest ich przerywany charakter pracy. Widać to najlepiej na przykładzie Niemiec, gdzie brak energii z wiatru i słońca trwa nie raz po 5-6 dni i nocy.

W efekcie Niemcy dokładają do OZE rocznie 25-26 mld euro, ceny energii elektrycznej są tam niemal dwukrotnie wyższe niż we Francji bazującej na energii jądrowej, a emisje CO₂ wcale nie maleją. W Polsce, mającej warunki wiatrowe i słoneczne gorsze niż Niemcy, OZE nie są dobrą drogą do rozwoju elektroenergetyki.

Prof. Mariusz P. Dąbrowski przygotował dla PTJ artykuł na temat reaktora przyszłości. Tytuł artykułu: „**Reaktor dwupłynowy jako nowa i rewolucyjna koncepcja reaktora jądrowego**”. Zdaniem autora stosowana obecnie energetyka jądrowa pomimo swojego znakomitego potencjału dla wytwarzania niezwykle taniej energii elektrycznej, wciąż nie pokonuje innych źródeł

w jednoznaczny i spektakularny sposób. Problemem są coraz większe wymagania w zakresie bezpieczeństwa, a także oparcie o technologie, których geneza sięga zastosowań militarnych, dla których ekonomia nie była priorytetem. Proponowane przez Międzynarodowe Forum Reaktorów IV Generacji (Generation IV International Forum) rozwiązania, chociaż uważane za bezpieczne, wciąż nie wydają się być satysfakcjonującymi pod względem ekonomicznym. Dlatego poszukuje się nowych koncepcji, które mogłyby doprowadzić do spektakularnego przełomu w tej dziedzinie. Taką propozycją jest Reaktor Dwupłynowy (RD; ang. Dual Fluid Reactor (DFR)). W artykule przedstawione są podstawowe cechy tego reaktora jako prędkiego reaktora wysokotemperaturowego (1000°C), samowylączającego się i niezwykle ekonomicznego. „Celem przedstawienia mojego artykułu jest zainicjowanie dyskusji na temat przedmiotowej koncepcji reaktora” – napisał autor do redakcji. Zatem zapraszamy do dyskusji.

Dr Andrzej Mikulski, poza już omawianym artykułem przygotował drugi tekst. Jego tytuł: „Prace modernizacyjne w reaktorze MARIA”. Zgodnie z tytułem artykuł zawiera omówienie prac modernizacyjnych w reaktorze badawczym MARIA w czasie jego prawie 45-letniej eksploatacji. Okazuje się, że większość urządzeń istotnych dla jego bezpiecznej eksploatacji została wymieniona; z pierwotnego wyposażenia pozostały tylko: zbiornik, konstrukcja podtrzymująca elementy paliwowe i rurociągi obu obiegów.

I znowu powrót do energetyki jądrowej. Małgorzata Kłisińska i Łukasz Koszuk przedstawiają w swoim artykule charakterystykę wybranych typów elektrowni jądrowych generacji III/III+.

Program Polskiej Energetyki Jądrowej zakłada budowę elektrowni jądrowych właśnie generacji III/III+. Rynek oferuje kilka konkretnych technologii tej generacji. W artykule prezentowane są informacje o czterech z nich – trzech reaktorach wodnych ciśnieniowych – AP1000, APR1400 oraz EPR, a także jednym reaktorze wodnym wrzącym – ABWR. Artykuł zawiera informacje zebrane na potrzeby jednego z tematów realizowanych przez autorów w Narodowym Centrum Badań Jądrowych.

Ostatni tekst w części artykułowej dotyczy CERN-u. Pani Małgorzata Nowina Konopka pisze w streszczeniu swojego artykułu: „Główne cele projektu LHC: odkrycie bozonu Higgsa, badania antymaterii i plazmy kwarkowo – gluonowej osiągnęły etap coraz bardziej subtelnej analizy danych. Są poszukiwane nowe cząstki oraz zjawiska świadczące o istnieniu „nowej fizyki” wykraczającej poza Model Standardowy. Są planowane nowe eksperymenty, pozwalające na uzyskanie jeszcze wyższych energii niż w LHC. Zarówno w pomysłach na nowe eksperymenty jak i w interpretacji danych Polacy mają spore sukcesy”. Zachęcam do lektury doniesień z CERN-u.

W części numeru poświęconej doniesieniom zamieszczamy, między innymi, informację o posiedzeniu parlamentarnego zespołu ds. energetyki jądrowej z udziałem przedstawicieli organizacji społecznych.

Publikujemy dwa wzajemnie uzupełniające się doniesienia na temat konferencji pod tytułem: Zakopane Conference on Nuclear Physics – „Extremes of the Nuclear Landscape” – już 53. z serii Zakopiańskich Szkół Fizyki, organizowanych przez Instytut Fizyki jądrowej PAN.

Dr Wojciech Głuszewski donosi o XXI Konferencji Inspektorów Ochrony Radiologicznej (SIOR), a dr hab. Piotr Ulański relacjonuje przebieg uroczystości odsłonięcia tablicy pamiątkowej poświęconej pamięci prof. Jerzego Kroh (1924-2016).

Redakcja PTJ dostrzegła gdzieś informację, że naczelny czasopisma właśnie przekroczył 80 lat życia. Z tej okazji przygotowano coś w rodzaju panegiryku dla niżej podpisanego. Jestem za to zespołowi bardzo wdzięczny. Informacja, o której wspominam oznacza jednak także i to, że trzeba będzie wkrótce pożegnać się z pełnią funkcją i z Czytelnikami. O tym nieuniknionym fakcie został poinformowany wydawca naszego periodyku.

A o upływie czasu przypominają także teksty wspomnieniowe poświęcone znanym naukowcom z dziedziny szeroko rozumianej atomistyki takim jak: Michał Nadachowski, Krzysztof Pytel, Jerzy Jastrzębski, Włodzimierz Tomczak i Jerzy Łoskiwicz.

Zegnamy lato, mamy piękną polską, złotą jesień. Marzę o tym, aby przyszła wiosna, zwłaszcza dla polskiej energetyki jądrowej.

Przepraszam Czytelników za znaczne opóźnienie w ukazaniu się niniejszego numeru PTJ.

Stanisław Latek,
redaktor naczelny

PROGRAMY BADAWCZE W ZAKRESIE ENERGETYKI JĄDROWEJ - PROWADZONE OBECNIE I KONIECZNE DO URUCHOMIENIA

Research programmes in the field of nuclear energy – currently being conducted and necessary to run

Stanisław Latek

Streszczenie: W artykule omówiono programy badawcze w zakresie energetyki jądrowej prowadzone w przeszłości, obecnie i konieczne do uruchomienia w przyszłości. Szczegółowiej omówiono strategiczny projekt badawczy pod nazwą **Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej** realizowany w latach 2011–2014, a także obecnie realizowane programy wyprzedzające oraz Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) i projekty go wspierające. Dokonano podziału omawianych programów i zadań, na krajowe zadania wynikające z programów, bądź projektów europejskich oraz zadania realizowane pod auspicjami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA). Podano argumenty dlaczego badania naukowe są ważne dla rozwoju energetyki jądrowej. Przytoczono listę działań Ministerstwa Energii w zakresie rozwoju sektora naukowo-badawczego.

Abstract: In the article the research programmes in the field of nuclear energy – currently being conducted and necessary to run in future are presented. More details were described strategic research project **Technologies supporting developments of the nuclear power** realized in the period 2011–2014. The presently realized preceding projects and those supporting Programme of the Polish Nuclear Power are also characterized. The programmes were divided into national, realized in the frame of European cooperation and under the auspices of International Atomic Energy Agency (IAEA). The reasons why scientific researches are important for nuclear energy development are given. The activities of Ministry of Energy in the field of scientific and research programmes was quoted.

Słowa kluczowe: Programy badawcze, energetyka jądrowa, technologie wspomagające rozwój energetyki jądrowej, Program Polskiej Energetyki Jądrowej, EURATOM, MAEA, Ministerstwo Energii.

Keywords: Research programmes, nuclear power, technologies supporting developments of the nuclear power, Programme of the Polish Nuclear Power, EURATOM, IAEA, Ministry of Energy.

Prof. Andrzej Chmielewski we wstępie referatu na temat programów badawczych instytutów wygłoszonego w maju tego roku na seminarium Komitetu Problemów Energetyki PAN [1] (cytuując materiały MAEA) stwierdził: „Rozwój sektora nuklearnego nie może być napędzany jedynie przez dostępność technologii w świecie. Podejmowanie decyzji w tym zakresie jest złożoną czynnością związaną z polityką rządu, względnymi kosztami wytwarzania energii, sytuacją rynkową etc. Wynikający stąd poziom nieprzewidywalności zobowiązuje rządy do utrzymania szerokiej gamy opcji technologicznych otwartych na przyszłość, a zatem utrzymania sprawnego w działaniach sektora badawczo-rozwojowego. Celem realizacji programów badań jądrowych jest zapewnienie wiedzy dotyczącej podejmowania świadomych decyzji dotyczących przyjmowanych do wdrożenia opcji jądrowych. Takie działania są podstawą uzyskiwania korzyści przemysłowych dla kraju oraz rozwoju technologii i jej wykorzystania na arenie międzynarodowej. Utrzymanie potencjału badawczego jest niezbędne do tego aby kraj był postrzegany jako wiarygodny partner w skali międzynarodowej,

na którego terenie mogą powstawać bezpieczne obiekty, nadzorowane w skali regionalnej i światowej”.

Autor referatu w dalszej jego części omówił rolę i znaczenie Technical and Scientific Support Organizations (TSO – organizacji wsparcia technicznego) istniejących w krajach rozwijających energetykę jądrową, a skupiających kompetentnych, doświadczonych ekspertów. Spełniają one ważną doradczą rolę w zakresie technicznym i prawnym niezbędną dla podejmowania decyzji w zakresie bezpieczeństwa i dozoru jądrowego przez organy administracji państwowej oraz doradzają przedsiębiorstwom przemysłowym realizującym projekty związane z rozwojem EJ. Eksperti mogą również doradzać urzędowi państwowemu, odnośnie sposobów postępowania. Określać w jaki sposób osiągnąć najwyższy możliwy poziom bezpieczeństwa instalacji jądrowych, w procesie zagospodarowania odpadów promieniotwórczych oraz właściwy poziom ochrony radiologicznej w odniesieniu do personelu i ludności mieszkającej w okolicy obiektów jądrowych.

Organizacje nadzorujące w procesie podejmowania decyzji dotyczących wykorzystania energii jądrowej mogą

włączać także inne specjalistyczne instytuty (spoza struktur TSO) do zapewnienia odpowiedniej kompetencji w swojej planowanej aktywności wymagającej licencjonowania. Wspomniane urzędy i organizacje powinny zawrzeć odpowiednie porozumienia/umowy z instytutami gwarantującymi wykonanie ekspertyz na wysokim poziomie.

Instytuty, których działalność przedstawił w swej prezentacji prof. A. Chmielewski, czyli Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR), Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) włączone są w system TSO od połowy lat 50 ubiegłego wieku. Kilkanaście innych instytutów, uczelni i instytucji może być także potencjalnym wsparciem dla TSO.

Przestawiając działania i programy badawcze w zakresie energetyki jądrowej nie można pominąć informacji o Programie Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ). Został on przyjęty przez Radę Ministrów RP w dniu 28 stycznia 2014 r. Główne cele Programu wynikające z *Polityki energetycznej Polski do 2030 r.* są następujące:

- zapewnienie długoterminowego bezpieczeństwa dostaw energii elektrycznej;
- utrzymanie cen energii elektrycznej na poziomie akceptowalnym dla gospodarki i społeczeństwa;
- obniżenie emisji CO₂ oraz innych substancji zanieczyszczających i pyłów;
- budowę dwóch elektrowni jądrowych o łącznej mocy zainstalowanej 6000 MW.

Przy wdrażaniu PPEJ okazało się, że przeszkody w jego realizacji są większe od pierwotnie oczekiwanych. Czynniki opóźniającymi były między innymi: długotrwały proces konsultacji transgranicznych (2 lata), późne zatwierdzenie PPEJ przez Radę Ministrów, zerwanie kontraktu na prowadzenie badań lokalizacyjnych z firmą Worley Parsons. W dniu 14 października 2016 r., Rada Ministrów przyjęła Sprawozdanie Ministra Energii z realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej za lata 2014-15 i zdecydowała o konieczności weryfikacji całości Programu do końca 2017 r. oraz aktualizacji harmonogramu i modelu biznesowo-finansowego w roku 2017. Powyższe zadania zostały wykonane w terminie i obecnie nowa zaktualizowana wersja PPEJ czeka na decyzję Rady Ministrów.

Wdrożenie PPEJ wymaga podjęcia działań w zakresie rozwoju sektora naukowo-badawczego oraz realizacji wielu programów badawczych. Warto jednak zauważyć, że programy badawcze w zakresie energetyki jądrowej były realizowane dużo wcześniej.

Intensyfikacja tych prac nastąpiła po decyzji rządu o budowie EJ w Żarnowcu w roku 1982.

Warto w tym miejscu podkreślić pozytywne aspekty rozpoczęcia przez Polskę budowy EJ Żarnowiec. Wdrożony został proces tworzenia kompleksowego systemu energetycznego niezbędnego do realizacji programu rozwoju energetyki jądrowej. System taki powinien objąć: studia lokalizacyjne, prace: legislacyjne, badawczo-rozwojowe i projektowo-konstrukcyjne, mechanizmy zapewnienia potrzebnych materiałów, rozwój produkcji przemysłowej urządzeń, rozwój potencjału budowlano-montażowego, finansowanie i realizację inwestycji, przygotowanie kadr, przygotowanie eksploatacji, prace normalizacyjno-techniczne, procedury wykonawcze i technologiczne oraz działalność informacyjną i promocyjną.

W czasie przygotowań do budowy i przy samej budowie EJ Żarnowiec polscy pracownicy i specjaliści zdobyli cenne doświadczenie, które mimo upływu czasu wciąż jeszcze może być wykorzystane przy realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. W programie tym wykazano, że istnieje konieczność ścisłej współpracy sektora przemysłowego oraz organów administracji państwowej z sektorem naukowo-badawczym, a także z uczelniami akademickimi oraz szkołami zawodowymi.

Kiedy w bieżącym stuleciu wznowiono prace nad wdrożeniem energetyki jądrowej, instytuty badawcze wróciły do badań dotyczących energetyki jądrowej.

Pierwsze wersje PPEJ opracowano w Ministerstwie Gospodarki w listopadzie 2010 r.

W roku następnym został przyjęty przez Radę Ministrów Krajowy Program Badań (KPB) opracowany przez Komitet Polityki Naukowej (KPN). W załączniku do uchwały nr 164/2011 przedstawiono KPB jako „Założenia polityki naukowo-technicznej i innowacyjnej państwa”. KPB obejmował siedem strategicznych, interdyscyplinarnych kierunków badań naukowych i prac rozwojowych, w tym program „Nowe technologie w zakresie energetyki”. W programie tym założono, „że ustalone zadania w tym zakresie muszą wspierać realizację Polskiej Polityki Energetycznej do roku 2030, przyjętej przez Radę Ministrów w dniu 10 listopada 2009 r., jak również realizację celów polityki energetyczno-klimatycznej Unii Europejskiej. Założono również, że zadania badawcze w tym zakresie będą wspierać realizację formułowanego obecnie Narodowego Programu Rozwoju Gospodarki Niskoemisyjnej (NPRGN), którego głównym celem jest przestawienie gospodarki na gospodarkę niskoemisyjną”. KPN uznał również za celowe prowadzenie badań interdyscyplinarnych, zakładając, że: „Realizacja programu energetyki jądrowej stworzy zapotrzebowanie na badania m.in. w dziedzinach takich jak: technologie materiałowe, elektrotechnika, automatyka w odniesieniu do np. cyklu paliwowego, reaktorów IV generacji, czy rozwoju modeli probabilistycznych i oprogramowania. Badania prowadzone w zakresie energetyki jądrowej pozwolą na dotrzymanie zadeklarowanego przez polski Rząd w uchwale z dnia 13 stycznia 2009 r. terminu uruchomienia pierwszego bloku elektrowni jądrowej w 2020 r. Ponadto, technologie nuklearne znajdują zastosowanie także w innych dziedzinach: w profilaktyce, w diagnostyce i terapii medycznej, w produkcji nowych materiałów, w petrochemii, rolnictwie, ochronie środowiska oraz gospodarce wodnej”.

Prace badawcze na rzecz rozwoju energetyki jądrowej na wniosek Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego zostały zorganizowane przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) poprzez ustanowienie strategicznego projektu badawczego pn. Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej. Projekt ten ustanowiono na podstawie art. 8 a, ust.5 ustawy o zasadach finansowania nauki z 8.10.2004 /Dz.U.169,1049/. Zakończenie i ewaluacja tego projektu nastąpiła na przełomie 2014/2015 r.

A oto tytuły zadań wspomnianego projektu i nazwy instytucji, które je realizowały:

- Rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych (lider konsorcjum – Akademia Górniczo-Hutnicza);

- Badania i rozwój technologii dla kontrolowanej fuzji termojądrowej (lider konsorcjum — Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN);
- Podstawy zabezpieczenia potrzeb paliwowych polskiej energetyki jądrowej (lider sieci naukowej – Uniwersytet Warszawski);
- Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi (wykonawca – Instytut Chemii i Techniki Jądrowej);
- Analiza możliwości i kryteriów udziału polskiego przemysłu w rozwoju energetyki jądrowej (lider sieci naukowej – Politechnika Warszawska);
- Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej (lider sieci naukowej – Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej);
- Analiza procesów generacji wodoru w reaktorze jądrowym w trakcie normalnej eksploatacji i w sytuacjach awaryjnych z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego (lider sieci naukowej – Instytut Chemii i Techniki Jądrowej);
- Analiza procesów zachodzących przy normalnej eksploatacji obiegów wodnych w elektrowniach jądrowych z propozycjami działań na rzecz podniesienia poziomu bezpieczeństwa jądrowego (lider sieci naukowej – Instytut Chemii i Techniki Jądrowej);
- Opracowanie metod i wykonanie analiz bezpieczeństwa w reaktorach jądrowych przy zaburzeniach w odbiorze ciepła i w warunkach ciężkich awarii (wykonawca – Politechnika Warszawska);
- Opracowanie metody i wykonanie przykładowej analizy systemowej pracy bloku jądrowego z reaktorem wodnym przy częściowym skojarzeniu (wykonawca – Politechnika Gdańska).

Sam program i wyniki jego prac zostały szeroko omówione w nr 2 Postępów Techniki Jądrowej wydanym w roku 2015 [2, 3, 4, 5, 6].



Fot. 1. Publikacje ICHTJ na temat prac wykonanych w ramach projektu strategicznego NCBR Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej

Fig. 1. The INCT publications concerning works realized in the strategic project Technologies supporting developments of the nuclear power

W latach 2011-2014 oprócz projektu strategicznego polskie instytuty i uczelnie realizowały inne projekty badawcze m.in. z Programu Operacyjnego Innowacyjna Gospodarka, a także brały udział w kolejnych edycjach programów MAEA i EURATOMU.

Minister Gospodarki w dniu 8 maja 2014 r. zwrócił się do Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego z prośbą o kontynuację projektu, argumentując, że 28 stycznia tegoż roku Rada Ministrów przyjęła Program Polskiej Energetyki Jądrowej/PPEJ/, w którym ustalono potrzebę wsparcia rozwoju tej nowej branży badaniami i rozwojem infrastruktury badawczej oraz wykształcenia specjalistycznej kadry. Niestety, kontynuacja tych niezwykle ważnych działań nie została podjęta do dzisiaj, mimo że utworzenie takiego programu powinno być jednym z priorytetów NCBR. Jego brak może też wpływać na opóźnienie w podejmowaniu szeregu decyzji niezbędnych do oceny i wdrażania PPEJ. Realizacja programu ułatwiłaby wykazanie gotowości technologicznej kraju we wdrażaniu energetyki jądrowej oraz jej roli w rozwoju sektora energetycznego pozwalającego na wprowadzanie/zapewnienie bezpiecznych i przyjaznych środowisku technologii energetycznych, do jakich należy elektrownia jądrowa.

W przyjętym przez Radę Ministrów PPEJ określono źródła finansowania wielu przedsięwzięć, w tym finansowanie kształcenia i szkolenia kadry /zad. 2/ oraz rozwój infrastruktury badawczej /zad. 7/ natomiast nie ustalono źródła finansowania projektów badawczych wspierających rozwój energetyki jądrowej, zakładając współdziałanie jednostek badawczych i przemysłu.

W uchwale rządowej podkreślono, że „Wdrożenie energetyki jądrowej nie oznacza bowiem jedynie budowy elektrowni jądrowych i uzupełnienie polskiego koszyka energetycznego o energię pochodzącą z siłowni jądrowych. Będzie ona impulsem dla rozwoju gospodarczego, społecznego i regionalnego. Najwyższe wymogi i standardy obowiązujące w energetyce jądrowej będą miały również pozytywny wpływ na rozwój kultury technicznej polskiej energetyki i przemysłu. Dzięki budowie zaplecza naukowego i przemysłowego rozwinięta zostanie nowa branża, w której zatrudnienie znajdą specjaliści o najwyższych kwalifikacjach”.

Jak wykazują doświadczenia takich krajów jak Czechy, Słowacja, Węgry etc. duże zaangażowanie krajowego przemysłu i instytutów badawczych oraz uczelni, jest niezwykle ważne ze względu na rozwój technologiczny – ekonomiczny kraju oraz późniejszą bezpieczną eksploatację bloków energetycznych. Niestety aktualny zakres działań dotyczący udziału polskiego przemysłu i nauki w realizacji PPEJ znacznie odbiega od obserwowanego u naszych sąsiadów (i w innych krajach europejskich – np. Wielkiej Brytanii), czy też znanych doświadczeń krajowych z czasów budowy EJ Żarnowiec. Kraj sąsiadujący z Polską Białoruś, która rozpoczęła swój projekt jądrowy w roku 2012, uruchomi pierwszy blok w zbudowanej elektrowni jądrowej w roku 2019. W zaistniałej sytuacji dużą szkodą dla kraju byłoby przerwanie prac badawczo-rozwojowych ukierunkowanych na rozwój kompetencji potrzebnych do realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej. Brak finansowania projektów z tej dziedziny wiedzy i techniki

spowodowałby nie tylko zahamowanie rozwoju zespołów eksperckich, ale wręcz ich rozpad i utratę kluczowego personelu. Program Polskiej Energetyki Jądrowej nakłada na MNiSW obowiązek realizacji Działania 7, którego celem jest „utworzenie odpowiedniego zaplecza naukowo-badawczego pracującego na potrzeby energetyki jądrowej, co jest niezbędne dla wieloaspektowego, pełnego wykorzystania przez Polskę szans i możliwości związanych z wprowadzeniem energetyki jądrowej”. KPN postuluje opracowanie przez MNiSW, we współpracy z Ministerstwem Gospodarki, kompleksowego planu realizacji tego działania wraz ze wskazaniem adekwatnych źródeł i instrumentów finansowania, uwzględniających ograniczenia formalne i realia budżetowe, a z drugiej strony wykorzystując szansę dostępu do funduszy strukturalnych. Ponieważ opracowanie planu i jego wdrożenie może zająć od kilku do kilkunastu miesięcy, jako pilne działanie doraźne, niezbędne do zachowania ciągłości prac, KPN postuluje przedłużenie „Projektu strategicznego energetyki jądrowej”. Propozycja przedłużenia powinna zawierać ocenę dotychczas realizowanych zadań z rekomendacją ich zakończenia lub kontynuacji oraz listę nowych zadań. Postulat ten poparła Minister prof. L. Kolarska – Bobińska (spotkanie w dniu 21 sierpnia 2014 r.) i zaleciła działania w kierunku przedłużenia oraz rozszerzenia umów na realizowane zadania badawcze w ramach umów cywilnoprawnych. Realizacja zweryfikowanych zadań pozwoliłoby na wypełnienie luki czasowej do chwili ustanowienia nowego programu sektorowego i realizację zapisów PPEJ nakładających na MNiSW obowiązek realizacji Działania 7, którego celem jest „utworzenie odpowiedniego zaplecza naukowo-badawczego pracującego na potrzeby energetyki jądrowej, co jest niezbędne dla wieloaspektowego, pełnego wykorzystania przez Polskę szans i możliwości związanych z wprowadzeniem energetyki jądrowej”. Natomiast nie przedłużenie projektu doprowadziłoby do sytuacji, w której w naszym kraju, wdrażającym energetykę jądrową, nie byłyby prowadzone żadne skoordynowane badania naukowe dotyczące tej tematyki. Sytuacja taka stworzyłaby realne zagrożenie dla prawidłowej realizacji przyjętego przez Rząd RP programu PPEJ.

Polska Grupa Energetyczna w listopadzie 2014 r. również wyraziła zainteresowanie wynikami realizacji niektórych, prowadzonych w ramach projektu „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” zadań badawczych, a co za tym idzie za ich kontynuacją.

Poniżej podano listę wybranych zadań krajowych realizowanych w NCBJ, CLOR i IChTJ w ostatnich latach:

- Ekspertyzy dotyczące probabilistycznych analiz bezpieczeństwa reaktorów jądrowych dla Państwowej Agencji Atomistyki (coroczne umowy od 2010 r.) (NCBJ);
 - Projektowanie eksperymentalnego reaktora HTGR (NCBJ) – zgłoszone do realizacji w ramach projektu Gospostrateg (konsorcjum z ME i IChTJ);
 - Wstępne obliczenia do określenia obszaru ograniczonego użytkowania oraz stref planowania awaryjnego dla różnych technologii – prace dla PGE-EJ1 (NCBJ);
 - Opracowanie założeń dla wdrożenia metody oznaczania węgla C-14 w próbkach środowiskowych (CLOR);
 - Adaptacja metody oznaczania trytu związanego organicznie (OBT) w próbkach biologicznych (CLOR);
 - Badania korozji stopów cyrkonu (IChTJ);
 - Modyfikacje warstw wierzchnich cyrkonu poprzez nakładanie prekursorów oraz obróbkę termiczną (wiązki jonowe, plazmowe, elektronowe) (IChTJ);
 - Opracowanie metody syntezy nowego sorbentu o roboczej nazwie SiEA-KNiFe do usuwania radionuklidów ze ścieków radioaktywnych (IChTJ).
- Poza krajowymi realizowano zadania wynikające z programów bądź projektów europejskich. Poniżej podano przykłady takich zadań (i projektów).
- IVMR (2016-2019): Retencja stopionego rdzenia w zbiorniku reaktora – strategia zarządzania awariami ciężkimi dla istniejących i przyszłych elektrowni jądrowych (In-Vessel Melt Retention Severe Accident Management Strategy for Existing and Future NPP-s); zakres zadań: Metodologia — Modelowanie — Obliczenia reaktorowe — Oszacowanie marginesów bezpieczeństwa (NCBJ);
 - GEMINI+(2017-2019), projekt realizowany w ramach H2020. Prace badawczo-rozwojowe reaktorów wysokotemperaturowych (HTR) prowadzone w ramach europejsko-amerykańskiej współpracy (NCBJ);
 - Visegrad Initiative for Nuclear Cooperation (VINCO project), 2016-2018, H2020-Euratom, Project ID: 662136, zadanie: ALLEGRO (low power helium cooled experimental reactor) core neutron physics studies (NCBJ);
 - Projekt EURAMET PREPAREDNESS. Reference nr. 16ENV04 „Metrologia mobilnych metod detekcji promieniowania jonizującego w następstwie wypadku jądrowego lub zdarzenia radiacyjnego” (CLOR);
 - Projekt EURAMET METRORADON. Reference nr. 16ENV10 „Metrologia monitoringu radonu ” (CLOR);
 - EAGLE, EU FP7, focused on public understanding of ionizing radiation. Relevance: enhancing education, training and communication processes for informed behaviours and decision-making related to ionizing radiation risks (IChTJ);
 - IPPA - Implementing Public Participation Approaches in Radioactive Waste (IChTJ);
 - ASGARD, EU FP7, focused on advanced fuels for Generation IV reactors. Relevance: provides a structured R&D framework for developing compatible techniques for dissolution, reprocessing and manufacturing of new nuclear fuels (IChTJ);
 - ADVANCE - Ageing Diagnostics and Prognostics of low-voltage I&C cables (IChTJ).
- Kolejną grupę stanowiły zadania realizowane pod auspicjami MAEA:
- MAEA Coordinated Research Project “T33002” entitled “Accelerator Driven Systems (ADS) Applications and use of Low-Enriched Uranium in ADS” – “Transmutation of minor actinides (MA) in accelerator driven system (ADS) or/and fast neutron - experimental measurement and burner concept development” (NCBJ);

- MODARIA II MOdelling and DATA for Radiological Impact Assessments (CLOR);
- Badanie społecznych i społeczno-ekonomicznych efektów wdrażania polskiego programu energetyki jądrowej przy użyciu nowej metodologii (IChTJ);
- Odzysk uranu i metali towarzyszących z odpadów przemysłowych różnego pochodzenia (IChTJ);
- Zastosowanie zaawansowanych systemów membranowych do odsalania jądrowego (IChTJ).

Różnorodność prowadzonych badań (ale przy niskim finansowaniu każdego z projektów, ze źródeł zagranicznych, czy funduszy statutowych) nie oznacza, że nie należy rozważać rozszerzenia listy realizowanych programów i projektów. Wydaje się, że rozszerzenie tematyki i zakresu badań powinno dotyczyć głównie dwóch obszarów: badań, które można określić jako wyprzedzające oraz badań wspierających realizację PPEJ.

Badania, które określono jako rozszerzające dotyczą niewątpliwie reaktora wysokotemperaturowego i jego budowy w Świerku. W opublikowanej w ubiegłym roku przez rząd *Strategii na rzecz odpowiedzialnego rozwoju* napisano: *Przygotowanie, przy wykorzystaniu polskiego potencjału przemysłowego i naukowego, wdrożeń wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych HTR do produkcji ciepła przemysłowego w skojarzeniu oraz wsparcie polskich badań i rozwoju materiałów dla IV generacji reaktorów.*

W Raporcie opublikowanym w styczniu 2018 r. przez Ministerstwo Energii zamieszczono m.in. następujące zadania:

- ocena potrzeb krajowych i eksportowych,
- rekomendacja technologii HTGR i parametrów reaktora,
- szacunkowe koszty i korzyści ekonomiczne,
- zidentyfikowane potencjalne bariery i ryzyka,
- zaproponowany plan wdrażania: powołanie Centrum Naukowo-Przemysłowego, a po 2-3 latach przekształcenie go w Spółkę celową.

Najpilniejsze zadania to zaprojektowanie budowy eksperymentalnego reaktora HTGR, a następnie weryfikacja analiz bezpieczeństwa z wykorzystaniem bezpośrednich pomiarów i badań symulacyjnych. Inne ważne zadanie to przygotowanie kadry i łańcucha dostaw do dużych reaktorów. Eksperckie uwagi co do realizacji tego projektu są przedstawione w artykule dra A. Mikulskiego w PTJ [7].

Przykładem innych zadań wyprzedzających realizowanych przez NCBJ, AGH, PW, PŚ, PG mogą być:

- Analizy zagrożeń pochodzących od ekstremalnych zjawisk naturalnych,
- Uwzględnienie zmian klimatycznych w analizach zagrożeń zewnętrznych,
- Analizy cieplno-przepływowe instalacji jądrowych dla awarii projektowych (z wykorzystaniem kodów systemowych i komponentowych, obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) oraz oprogramowania własnego),
- Analizy awarii w rozszerzonych warunkach projektowych oraz awarii ciężkich,
- Analizy różnych technologii reaktorowych IV generacji i nowych koncepcji reaktorów (np. HTR, GFR, SMR, DFR), reaktorów badawczych, zestawów krytycznych,
- Rozwinięcie programu badawczego w zakresie uruchomienia zestawów krytycznych mogących słu-

żyć do badań nad nowymi koncepcjami reaktorów jądrowych, a w szczególności reaktora HTGR oraz ALLEGRO. (Niektóre z tych analiz mogą być także wykorzystane przy realizacji PPEJ).

Innymi obszernymi programami/projektami wyprzedzającymi są:

- **GENIORS (wykonawca IChTJ) – Zintegrowane strategię recyklingu tlenkowych paliw GEN IV – nowy europejski projekt współpracy (2017–2021) w programie HORYZONT 2020 – EURATOM.**

Cel: Opracowanie nowych fizykochemicznych technologii (ekstrakcja ciecz-ciecz) oddzielania aktynowców od lantanowców, aby zamknąć cykl paliwowy w energetyce jądrowej. Umożliwi to:

- (1) znaczne zmniejszenie radiotoksyczności odpadów jądrowych pozostałych po przerobie wypalonych paliw jądrowych oraz
- (2) znaczne zmniejszenie długotrwałego oddziaływania tych odpadów jądrowych na środowisko.

Zadania zespołu IChTJ w projekcie GENIORS:

1. Optymalizacja metody oddzielania ameryku od technetu w ekstrakcyjnym procesie oddzielania aktynowców od produktów rozszczepienia, EURO-GANEX;
2. Sprawdzenie efektu powstawania hipotetycznych heteroleptycznych kompleksów ameryku(III) z ekstrahentem TODGA i z reekstrahentem anionowym na efektywność procesu EURO-GANEX;
3. Udział w pracach nad optymalizacją procesu EURO-GANEX – we współpracy z partnerami z konsorcjum.

- **“Characterization of conditioned nuclear waste for its safe disposal in Europe Activity” (CHANCE)** koordynowany przez ANDRA, Francja (2017-2021). (wykonawca w Polsce IChTJ).

CELE PROJEKTU:

1. Ustanowienie na poziomie europejskim kompleksowej wiedzy na temat aktualnych systemów charakteryzowania kondycjonowanych odpadów promieniotwórczych i systemów kontroli jakości obowiązujących w krajowych programach gospodarowania odpadami promieniotwórczymi, na podstawie danych od użytkowników końcowych, takich jak organizacje gospodarki odpadami i operatorzy przechowalników i składowisk,
2. Rozwój, testowanie i weryfikacja już zidentyfikowanych technik charakteryzowania, co ma poprawić charakterystykę kondycjonowanych odpadów promieniotwórczych, a mianowicie tych, których nie można łatwo scharakteryzować przy użyciu konwencjonalnych metod.

- **TEAM CABLES. Europejskie narzędzia i metodologie dla efektywnego zarządzania starzeniem kabli w elektrowniach jądrowych** (2017-2022); (Koordinator EdF, wykonawca w Polsce IChTJ).

Cel ogólny projektu:

1. Opracowanie modeli i algorytmów starzenia kabli dostosowanych do różnych matryc polimerowych, napełniaczy, dodatków, antyutleniaczy i stopni usieciowania.
2. Opracowanie metodologii pomiarów nieinwazyjnych dla oznaczenia degradacji izolacji i osłon.
3. Zaproponowanie ogólnodostępnych narzędzi do oceny czasu bezpiecznej eksploatacji kabli i przewodów umożliwiających otrzymanie danych przydatnych do zastosowania w matematycznych modelach i algorytmach.

Wśród zadań wymienionych w niniejszym artykule, realizowanych w latach 2011-2018 znajdowały się również zadania wspierające realizację PPEJ. Opóźnienia w przyjęciu ostatecznej wersji PPEJ i brak zapisu w tym programie o finansowaniu projektów naukowo-badawczych wspierających rozwój energetyki jądrowej wpływają negatywnie na realizację tych projektów. Mimo to programy wspierające PPEJ są realizowane albo formułowane są projekty, które zdaniem środowisk naukowych są niezbędne dla pomyślnej kontynuacji PPEJ.

Poniżej wymieniono kilka projektów, których realizacja jest niezbędna dla PPEJ:

- walidacja i weryfikacja narzędzi obliczeniowych związanych z zagadnieniami ciepłno-przepływowymi oraz zjawiskami zachodzącymi w trakcie awarii ciężkich, do stosowania w ocenie bezpieczeństwa w procesie licencjonowania (NCBJ);
- wyznaczanie neutronowo-fizycznych parametrów rdzeni reaktorów i innych instalacji jądrowych dla potrzeb licencjonowania, eksploatacji i oceny bezpieczeństwa (NCBJ);
- analizy neutronowo-fizyczne przechwalników wypalonego paliwa w celu zapewnienia ich podkrytyczności w warunkach normalnych i awaryjnych oraz obliczenia składu izotopowego wypalonego paliwa dla potrzeb ochrony radiologicznej (NCBJ);
- opracowanie modelu generatora neutronów D-T do celów symulacji metodą Monte Carlo. Docelowo stanowisko wzorcowe promieniowania neutronowego znajdzie zastosowanie w badaniach nowych typów dozymetrów promieniowania neutronowego jak również we wdrożeniu metod retrospektywnej dozimetrii biologicznej promieniowania neutronowego na potrzeby pracowników planowanej EJ (CLOR);
- Realizacja programów wspierających realizację PPEJ przez IChTJ:
 - Akceptacja społeczna i ochronny efekt środowiskowy,
 - Cykl paliwowy od rudy (ubogie i odpady), przerób, recykling,
 - Chemizm chłodziw, emisje gazowe,
 - Opady promieniotwórcze, przerób i bezpieczne składowanie,
 - Chemia analityczna materiałów jądrowych,
 - Ochrona radiologiczna – radiobiologia, radon w środowisku.

Dyr. Józef Sobolewski z Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Energii stwierdził niedawno, że Ministerstwo Energii podjęło następujące działania w zakresie rozwoju sektora naukowo-badawczego:

- przejście przez ME nadzoru nad 4 instytucjami naukowo-badawczymi (NCBJ, IChTJ, IFPiLM, CLOR);
- powołanie Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych, jako źródła dla ciepła przemysłowego. Celem jest stworzenie nowego, innowacyjnego sektora gospodarki opartego na krajowych instytucjach badawczych;
- prace koncepcyjne w zakresie utworzenia Narodowego Laboratorium Energii Jądrowej;
- wprowadzenie w projekcie nowelizacji ustawy Prawo atomowe zapisów dotyczących funkcjonowania i finansowania TSO tzw. organizacji wsparcia technicznego;

- szersze zaangażowanie w międzynarodową współpracę naukowo-badawczą w zakresie nowych technologii jądrowych na forum unijnym i regionalnym.

Można mieć nadzieję, że Ministerstwo Energii będzie nie tylko sprawować nadzór nad instytucjami, ale zaofiaruje im odpowiednie środki finansowe i stworzy warunki formalne ułatwiające realizację programów naukowo-badawczych w zakresie energetyki jądrowej. Podjęcie szybkich działań w zakresie realizacji PPEJ również w odniesieniu do programów naukowych i rozwojowych postulują środowiska naukowe i techniczne zrzeszone w organizacjach i stowarzyszeniach takich jak SEP, NOT, PTN, SEREN. To właśnie te organizacje wystosowały pod koniec maja br. list do Pana Premiera Mateusza Morawieckiego, w którym wyrażono nadzieję, że Pan Premier spowoduje podjęcie decyzji o przyśpieszeniu procesu wdrażania energetyki jądrowej w Polsce.

Budowa energetyki jądrowej stanowić będzie silny impuls rozwojowy i modernizacyjny dla polskiego przemysłu.

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

Literatura:

- [1] <http://www.kprobleen.pan.pl/images/stories/pliki/pdf/052018/KPE-PAN25.05.2018.pdf>
- [2] J. Michalik, Chemiczne aspekty energetyki jądrowej w projekcie NCBR. Technologie wspomagające bezpieczny rozwój energetyki jądrowej, PTJ nr 2/2015, s.14-15
- [3] L. Fuks, A. Oszczak, Strategiczny projekt badawczy NCBR. Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej. Zadanie nr 4. Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi, PTJ nr 2/2015, s. 16-28
- [4] P. Krajewski, G. Krajewska, Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej. Zadanie nr 6. Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej, PTJ nr 2/2015, s. 29-34
- [5] K. Ciupek, P. Krajewski, K. Kozak, I. Śliwka, T. Pliszczyski, H. Polkowska-Motrenko, Strategiczny projekt badawczy NCBR. Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej. Zadanie nr 6. Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej. Cel 1: Opracowanie ogólnej koncepcji i metod badań środowiskowych (w tym zdrowotności) dla przewidywanej lokalizacji EJ (etapy 1, 2, 3, 4 i 5), PTJ nr 2/2015, s. 35-41
- [6] K. Brzóska, M. Kowalska, M. Kruszewski, A. Lankoff, S. Sommer, Strategiczny projekt badawczy NCBR. Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej. Zadanie nr 6. Rozwój metod zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej dla bieżących i przyszłych potrzeb energetyki jądrowej. Cel 2: Rozwój metod dozimetrii biologicznej oraz biofizycznych markerów i indykatorów wpływu promieniowania na organizmy żywe (etapy 6, 7, 8, 9, i 10), PTJ nr 2/2015, s. 42-47
- [7] A. Mikulski, UWAGI DO RAPORTU ZESPOŁU MINISTERSTWA ENERGII DS. REAKTORA WYSOKOTEMPERATUROWEGO, PTJ nr 1/2018, s. 21-25.

PIERWSZA POŁOWA 2018 ROKU W ŚWIATOWEJ I POLSKIEJ ENERGETYCE JĄDROWEJ

Nuclear Power in the World and in Poland in the first half of 2018

Andrzej Mikulski

Streszczenie: W artykule przedstawiono dodatkowe informacje do wcześniej przedstawionego przeglądu sytuacji energetyki jądrowej w świecie i w Polsce wraz z aktualizacją do 31 sierpnia 2018 r.

Abstract: The paper presents additional information to earlier presented review of nuclear power situation in the world and in Poland to be actual till August 31, 2018.

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa na świecie, Polski Program Energetyki Jądrowej (PPEJ)

Keywords: nuclear power in the world, Polish Nuclear Energy Program (PNEP)

Wprowadzenie

Przegląd sytuacji energetyki jądrowej na świecie na koniec 2017 r. zamieszczony na początku bieżącego roku w kwartalniku Postępy Techniki Jądrowej (nr 1/2018) wymaga aktualizacji już po pół roku, a konkretnie, po ośmiu miesiącach na koniec sierpnia 2018 r. Wynika to z trzech przesłanek: dostępnej obecnie uszczegółowionej analizy sytuacji energetyki jądrowej na świecie na koniec ubiegłego roku, licznych dokonanych i zapowiadanych uruchomieniach nowych bloków jądrowych (do końca tego i w następnym roku) oraz dokonanych zmian planów na dalsze lata. Natomiast w Polsce, oficjalnie oczekiwana jest, stale odsuwana w czasie, decyzja dotycząca budowy pierwszej elektrowni jądrowej.

Ocenę sytuacji energetyki jądrowej na świecie na koniec 2017 r. i zmian dokonanych w bieżącym roku przedstawiono na podstawie raportu World Nuclear Association (WNA). Dalsze informacje zaczerpnięto z doniesień portali World Nuclear News (WNN) i The Independent Global Nuclear News Agency (NUCNET), a sytuację w Polsce i w krajach ościennych oparto na doniesieniach krajowych portali CIRE, WNP, BiznesAlert i WysokieNapiecie.

Bilans energetyki jądrowej na świecie na koniec 2017 roku

W sierpniu bieżącego [2018] roku Światowe Stowarzyszenie Nuklearne (World Nuclear Association) opubli-

kowało zbiorcze zestawienie sytuacji w przemyśle jądrowym na świecie na koniec 2017 r¹. Przedstawione informacje pokrywają się z tymi już publikowanymi, ale za WNA można ocenić, że praca reaktorów była doskonała (ang. excellent), wytworzono 2506 TWh energii elektrycznej co stanowi wzrost o 29 TWh w porównaniu z 2016 r. i stanowi piąty rok z rzędu wzrostu produkcji, a od 2012 r. wzrost ten wyniósł 160 TWh na koniec 2017 r. (rys. 1). Całkowita moc zainstalowana 448 reaktorów wynosiła 392 GWe i w ciągu roku wzrosła o 2 GWe (rys. 2), ale warto zauważyć, że obejmuje ona czasowo wyłączone reaktory w Japonii.

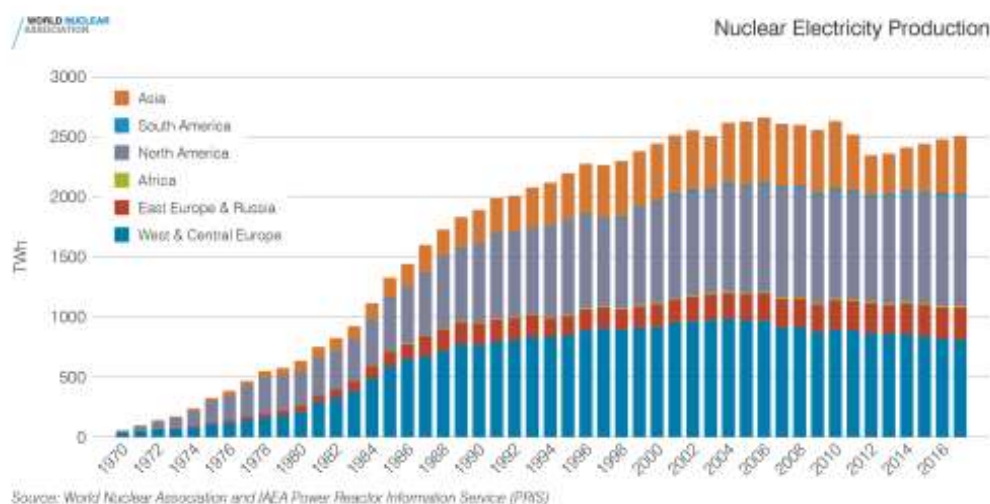
Globalny wskaźnik wykorzystania mocy elektrowni jądrowych w 2017 r. kształtował się na poziomie 81% i utrzymywał się na poziomie ok. 80% od 2000 r., a trzeba przypomnieć, że na początku lat 1980-tych był on na średnim poziomie 60% (rys. 3).

W 2017 r. do sieci energetycznej przyłączone zostały 4 reaktory o łącznej mocy 3373 MWe, a 5 reaktorów zostało wyłączonych o łącznej mocy 3025 MWe z tym że dwa z nich (Monju w Japonii i Santa Maria de Garona w Hiszpanii) zostały ostatecznie wyłączone, gdyż nie pracowały już od kilku lat. W fazie budowy na koniec 2017 r. pozostawało 59 bloków. W tym roku poza podłączeniem do sieci 4 bloków rozpoczęto budowę 4 nowych bloków, a budowa 2 bloków została wstrzymana. Zarówno w latach 2015 i 2016 było

¹ <http://www.world-nuclear.org/our-association/publications/online-reports/world-nuclear-performance-report.aspx>

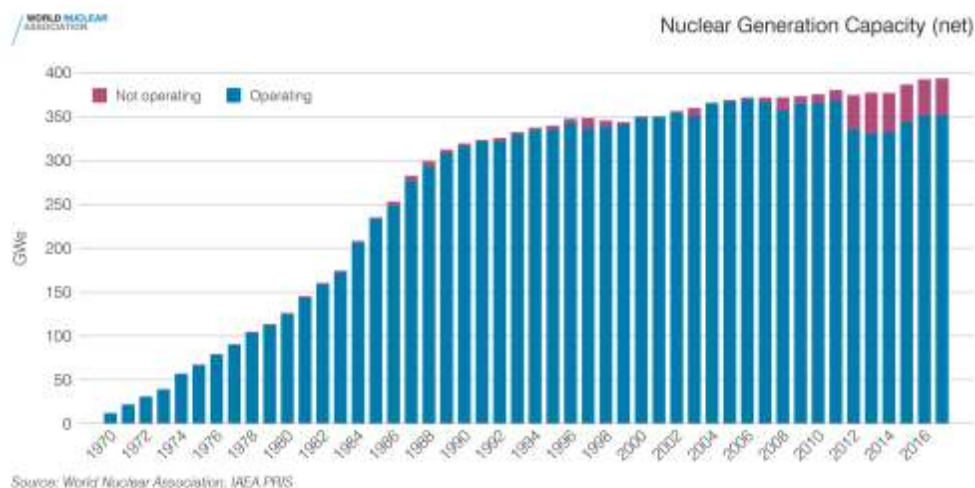
więcej bloków podłączonych do sieci, po 10 w każdym roku, ale w tym roku (do 31 sierpnia) zanotowano już więcej podłączeń do sieci bloków niż w całym 2017 r. Zgadza to się ze statystyką podawaną przez MAEA o uruchomieniu w tym roku łącznie już 7 bloków, w tym 4 nowych, a 3 bloki w Japonii wznowiły pracę.

Istotna jest obserwacja dotycząca średniego czasu budowy reaktorów oddawanych do eksploatacji w 2017 r., który wyniósł 58 miesięcy (średnia z 4 uruchamianych reaktorów), czyli prawie 5 lat. Oznacza to znaczny spadek z 74 miesięcy zanotowanych w 2016 r. (średnia z 10 uruchamianych reaktorów) i jest porównywalny z najniższym czasem budowy obserwowanym w latach 2001-2005.



Rys. 1. Energia elektryczna wytwarzana w elektrowniach jądrowych na świecie w latach 1970-2017

Fig. 1. Nuclear electricity production in years 1970-2017



Rys. 2. Zainstalowana moc elektryczna w elektrowniach jądrowych na świecie w latach 1970-2017

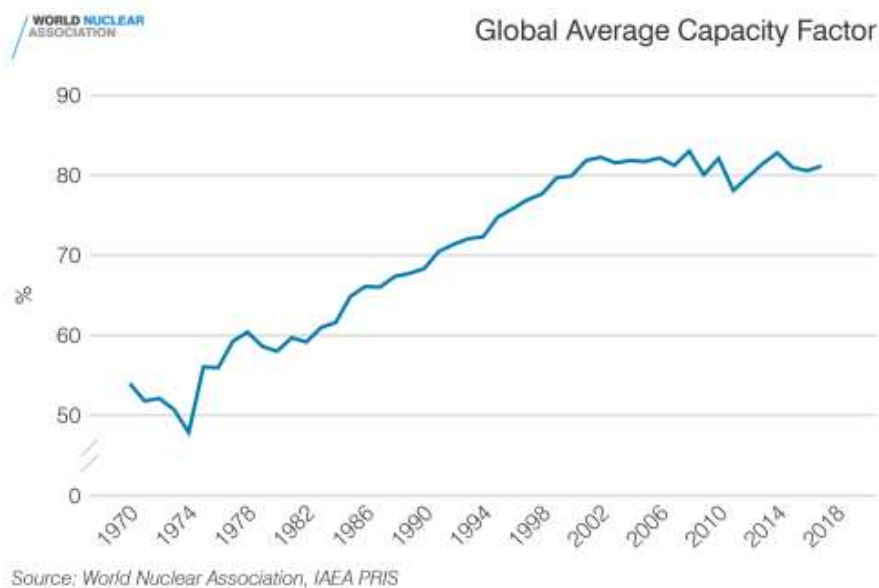
Fig. 2. Nuclear generation capacity in years 1970-2017

Przedstawiony raport WNA zawiera jeszcze wiele innych wykresów, ale jeden jest szczególnie interesujący, gdyż pokazuje utrzymujący się na stałym poziomie średni współczynnik wykorzystania mocy liczony w pięciolecie 2012-2017 w zależności od wieku reaktora, czyli czasu jego eksploatacji (rys. 4).

Przedstawione wyżej informacje chyba w pełni potwierdzają bardzo pozytywną ocenę pracy reaktorów jądrowych w 2017 r.

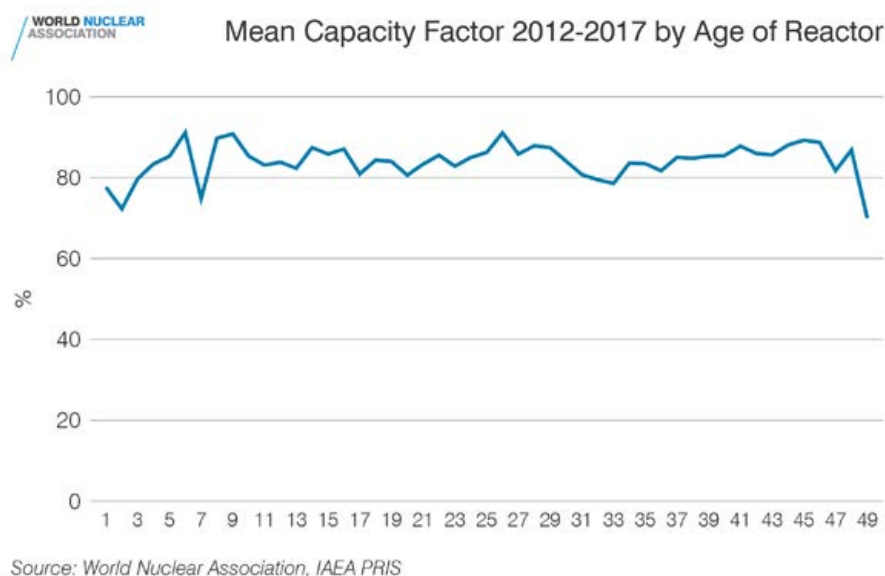
Przegląd sytuacji energetyki jądrowej w poszczególnych krajach

Niżej przedstawiamy przegląd sytuacji energetyki jądrowej na świecie w 2017 r. z aktualizacją do 31 lipca 2018 r., dokonany w przytoczonym wyżej raporcie WNA wraz z dodatkowymi uzupełnieniami. Przegląd wskazuje, że już od wielu lat najszybszy rozwój energetyki jądrowej następuje w krajach Dalekiego Wschodu i od tych krajów rozpoczniemy nasz przegląd.



Rys. 3. Globalny współczynnik wykorzystania mocy w elektrowniach jądrowych na świecie w latach 1970-2017

Fig.3. Global average capacity factor in years 1970-2017



Rys. 4. Współczynnik wykorzystania mocy w latach 2012-2017 w zależności od liczby lat eksploatacji danego bloku

Fig. 4. Mean capacity factor 2012-2017 by age of reactor

Chiny aktualnie eksploatują 38 reaktorów i stanowi to 9% światowej zainstalowanej mocy elektrycznej i kraj ten dominuje na rynku budowy nowych reaktorów, podłączając do sieci 3 (o łącznej mocy 3 GWe) z czterech reaktorów w 2017 r., poza tym kraj ten posiada 18 z ogólnej liczby 59 bloków w budowie. W czerwcu uruchomiono pierwsze dwa bloki w EJ Sanmen typu AP1000 i jeden blok w EJ Taishan typu EPR, co stanowi jakby początek nowej linii konstrukcyjnej reaktorów typu PWR generacji III+. Oczekuje się, że w 2018 r. będzie uruchomionych w Chinach łącznie 6 nowych bloków i rozpocznie się budowa 6 do 8 następnych bloków. Równolegle Chiny pracują nad reaktorem przed-

kim (FNR) i połączonymi dwoma reaktorami wysokotemperaturowymi (HTR-PM) zasilającymi jedną turbinę o mocy 250 MWe. W kwietniu ogłoszono rozpoczęcie ładowania elementów moderatora w tych reaktorach i zgodnie z wcześniejszymi zapowiedziami mają być one uruchomione do końca 2018 r. W uzupełnieniu do działań na rynku wewnętrznym Chiny podpisały kontrakt na budowę dwóch reaktorów w Argentynie (typu CANDU i Hualong One) i jednego reaktora w Pakistanie (typu Hualong One). Również w 2017 r. Chiny podpisały umowy o współpracy w dziedzinie energetyki jądrowej z takimi krajami jak: Arabia Saudyjska, Brazylia, Francja, Kambodża, Kenia, Tajlandia, Uganda, i Wietnam.

Pakistan uruchomił w czerwcu 2017 r. blok nr 4 w EJ Chashma typu CNP-300 o mocy 313 MWe dostarczony, jak poprzednie trzy bloki w tej lokalizacji przez Chiny.

Japonia na koniec 2017 r. uruchomiła 3 reaktory wyłączane po trzęsieniu ziemi w 2011 r., a do czerwca 2018 r. uruchomionych zostało dalszych 6 reaktorów. W oczekiwaniu na uzyskanie zgody na uruchomienie pozostaje następnych 19 reaktorów, a 10 z nich może być uruchomionych do marca 2019 r.

Korea Południowa przeżywała w 2017 r. pewne zawirowanie, gdyż w wyborach prezydenckich obiecywano odejście od energetyki jądrowej, co spowodowało wstrzymanie budowy bloków nr 5 i 6 w EJ Shin Kori, ale w październiku konwent mieszkańców wypowiedział się większością głosów za kontynuowaniem budowy i decyzją prezydenta budowa została wznowiona z zastrzeżeniem, że będą to ostatnie budowane reaktory. Poza tym przemysł jądrowy uczestniczy w budowie i uruchomieniu czterech reaktorów typu APR1400 w Zjednoczonych Emiratach Arabskich i uzgodniono wspólne działania z ZEA na rzecz budowy bloków w Arabii Saudyjskiej.

Indie w kwietniu 2017 r. uruchomiły blok nr 2 w EJ Kudankulam konstrukcji rosyjskiej AEC-2006 i rozpoczęto budowę bloków nr 3 i 4 w tej samej lokalizacji. Na początku 2018 r. w budowie znajdowało się 7 bloków wliczając w to bloki własnej konstrukcji o mocy 700 MWe. W maju 2017 r. zaplanowano znaczną rozbudowę sektora jądrowego poprzez budowę 10 bloków typu PHWR (przyjęta międzynarodowa nazwa reaktorów CANDU), a w marcu 2018 r. podpisano z Francją umowę na budowę 6 bloków typu EPR w jednej lokalizacji, która stanie się największą elektrownią na świecie.

Rosja uruchomiła dwa reaktory typu WWER w EJ Rostów (blok nr 4) i EJ Leningrad (blok nr 1 drugiej fazy rozbudowy). Poza tym przetransportowano pierwszą elektrownię pływającą (Akademik Łomonosow) z Petersburga do Murmańska w maju 2018 r. i rozpoczęto ładowanie paliwa do reaktora. Poza tym Rosja jest zaangażowana w budowę i projektowanie elektrowni w takich krajach jak: Bangladesz, Białoruś, Chiny, Indie, Iran, Turcja i Węgry oraz stara się być potencjalnym inwestorem w takich krajach jak: Algieria, Arabia Saudyjska, Boliwia, Brazylia, Egipt, Kongo, Filipiny, Indonezja, Jordania, Kazachstan, Nigeria, Republika Afryki Południowej, Sri Lanka i Tadżykistan.

Ukraina posiada nową strategię energetyczną uchwaloną w sierpniu 2017 r., w której udział elektrowni jądrowych w produkcji energii elektrycznej będzie wynosił ok. 50% do 2025 r. W październiku 2017 r. podpisano umowę z japońską firmą z Toshiba Energy Systems & Solutions na podniesienie mocy w 15 blokach, a w marcu br. firma Energoatom podpisała wstępne porozumienie o współpracy przy budowie małego reaktora modularnego SMR-160 firmy Holtec w technologii zintegrowanego reaktora wodno-ciśnieniowego.¹

Francja kontynuowała budowę bloku nr 3 w EJ Flamanville przez cały 2017 rok, ale istnieje obawa wystąpienia dalszych opóźnień w uruchomieniu tego bloku.

Hiszpania zdecydowała o wyłączeniu swej najmniejszej i najstarszej elektrowni Garoña, mimo że urząd dozoru wyraził zgodę na jej uruchomienie po przestoju trwającym od 2013 r.

Niemcy kontynuują eksploatację swoich 7 reaktorów, które w 2017 r. dostarczyły 10% energii elektrycznej, ale często pracują w reżimie nadążnym za farmami wiatrowymi (OZE) i wtedy może pojawić się sytuacja tzw. ujemnych cen energii, czyli Niemcy płacą za możliwość eksportu nadwyżek produkowanej energii elektrycznej do krajów sąsiednich.

Szwajcaria w maju 2017 r. przeprowadziła referendum dotyczące rewizji polityki energetycznej, która zabraniała budowy nowych elektrowni jądrowych. Zmiana tej polityki nie ma wpływu na eksploatowane elektrownie jądrowe. W marcu 2018 r. urząd dozoru jądrowego wydał zgodę na uruchomienie bloku nr 1 w EJ Beznau po 3-letnim postoju, a zatem w tym kraju pracuje 5 reaktorów.

Finlandia, a właściwie firma Teollisuuden Voima Oy (TVO) osiągnęła porozumienia z firmami: francuską AREVĄ i niemieckim Siemensem w długo trwającym sporze odnośnie do przekroczenia kosztów budowy i opóźnień w uruchomieniu bloku nr 3 w EJ Olkiluoto. Obecnie przewiduje się dokonanie załadunku paliwa w tym bloku w 2019 r.

Zjednoczone Emiraty Arabskie wykazały się dobrym postępowaniem prac w 2017 i 2018 r. Konstrukcja bloku nr 1 w EJ Barakah została oficjalnie zakończona w marcu 2018 r., a pozostałe bloki nr 2 do 4 wykonane są w 80%. Niemniej jednak uruchomienie bloku nr 1 zostało przesunięte na lata 2019-2020, by ukończyć szkolenie personelu i uzyskać licencję urzędu dozoru jądrowego.

Turcja rozpoczęła budowę swego pierwszego reaktora w kwietniu 2018 r. Jest to pierwszy z czterech bloków typu WWER-1200 powstających w EJ Akkuyu nad Morzem Czarnym.

Arabia Saudyjska planuje budowę pierwszej elektrowni jądrowej o mocy 2800 MWe i przewiduje zawarcie kontraktu do końca 2018 r. Do przetargu zgłosiło się 5 dostawców z Chin, Francji, Rosji, Korei Południowej i USA.

Egipt planuje budowę 4 reaktorów typu WWER-1200 w lokalizacji El Dabaa nad Morzem Śródziemnym. Wstępna umowa została podpisana w grudniu 2017 r.

Stany Zjednoczone Ameryki, eksploatujące pod koniec 2017 r. 99 bloków energetycznych, stanęły w 2017 r. przed poważnym wyzwaniem związanym z niską ceną gazu ziemnego, liberalizacją rynku energii i subsydiowaniem źródeł odnawialnych, co spowodowało wysunięcie się problemów ekonomicznych na pierwszy plan w przemyśle jądrowym. To wszystko w powiązaniu z problemami konstrukcyjnym przy budowie dwóch bloków typu AP1000 w EJ VC Summer spowodowało jej wstrzymanie w lipcu 2017 r. i pozostała tylko budowa dwóch bloków tego samego typu w EJ Vogtle. Dalsze problemy dotyczą ogłoszonego

¹ <https://www.nucnet.org/all-the-news/2018/03/02/holtec-and-energoatom-to-collaborate-on-smr-deployment-in-ukraine>

w styczniu 2018 r. przedwczesnego wyłączenia EJ Indian Point w latach 2020-21. Wyłączenie może też dotyczyć bloku nr 1 w EJ Three Mile Island, co ogłoszono w maju oraz trzech bloków w stanach Ohio i Pensylwania eksploatowanych przez firmę FirstEnergy. Zapowiedzi te miały swój pozytywny efekt poprzez zwrócenie uwagi na szczeblu stanowym i państwowym. W kwietniu 2018 r. w stanie New Jersey wprowadzono program certyfikatu „zerowej emisji” (ang. Zero Emission Certificate), który będzie wspierał źródła zero emisyjne. Podobne postępowanie wprowadzono pod koniec 2016 r. w stanie Nowy Jork, co pozwoliło firmie Exelon zainwestować w prace związane z wymianą paliwa i obsługą techniczną w trzech elektrowniach (EJ Fitzpatrick, EJ Ginna i EJ Nine Mile Point) w 2017 r. Na poziomie krajowym administracja państwowa ogłosiła wsparcie przemysłu jądrowego, a Departament Energii wezwał do reform rynkowych chroniących ten przemysł zapewniający dostawy energii elektrycznej w podstawie zasilania. Dodatkowo Departament Energii udzielił gwarancji właścicielom EJ Vogle na uzyskaną pożyczkę na dokończenie budowy. Wiadomo, że cztery firmy zainteresowane są budową małych reaktorów modułowych (BWXT, Holtec International, NuScale i Westinghouse), a pierwsza z nich wystąpiła do amerykańskiego Urzędu Dozoru Jądrowego (NRC) o wydanie Wstępnej Decyzji Lokalizacyjnej (ESP).²

Kanada zdecydowała o podjęciu prac modernizacyjnych w sześciu reaktorach typu CANDU w EJ Bruce w celu przedłużenia czasu eksploatacji tych bloków o 30-35 lat, a prace przy pierwszym bloku rozpoczęły się w marcu 2018 r. Aktualnie prowadzona jest wymiana rur w zbiorniku (calandrii) w EJ Darlington, która w bloku nr 2 osiągnęła półmetek w lutym 2018 r. Ponadto Kanada przejawia zainteresowanie reaktorami typu SMR w zastosowaniu w sieci energetycznej lub poza nią. Z początkiem 2017 r. Kanadyjskie Laboratoria Jądrowe podjęły decyzję o lokalizacji takiego reaktora na swoim terenie w Chalk River do 2026 r., a w lutym 2018 r. organizacja zajmująca się źródłami naturalnymi (Natural Resources Canada) podjęła pracę nad przygotowaniem harmonogramu (Roadmap) wykorzystującego potencjał technologii SMR. Z początkiem 2018 r. Kanadyjska Komisja Bezpieczeństwa Jądrowego zaangażowała się w przedlicencyjny proces przeglądu projektów małych reaktorów.

Argentyna potwierdziła swoje zainteresowanie energetyką jądrową podpisując w maju 2017 r. generalny kontrakt z Chinami na dostawę dwóch reaktorów, jednego typu CANDU, a drugiego typu Hualong One, których budowa ma się rozpocząć w 2018 i 2020 r. Równolegle trwa budowa reaktora CAREM typu iPWR o mocy 25 MWe własnej konstrukcji z planowanym uruchomieniem w 2020 r.³ Ponadto w styczniu 2018 r. pod-

pisano wstępne porozumienie z Rosją o promowaniu współpracy dotyczącej wydobywania uranu.

Niestety raport WNA tylko wymienia z nazwy inne europejskie kraje jak: Bułgaria, Czechy, Polska, Rumunia i Węgry zainteresowane budową nowych reaktorów i wymaga uzupełnienia poprzez dodanie jeszcze trzech krajów: Białorusi, Słowacji i Wielkiej Brytanii.

Białoruś nie oglądając się na zastrzeżenia wysuwane ze strony Litwy kontynuuje budowę dwóch bloków typu WWER-2006 w lokalizacji Ostrowiec w odległości 50 km od Wilna. Podejmuje liczne starania, by wykazać bezpieczeństwo konstrukcji tych reaktorów oraz zachowanie standardów przy budowie opierając się na opiniach przedstawianych przez ekspertów z MAEA i grupy ENSREG powołanej przez UE. W 2018 r. opublikowano wyniki przeprowadzonych tzw. testów odpornościowych (stress tests). Dwa bloki mają być uruchomione odpowiednio w 2019 i 2020 r.

Bułgaria od lat rozważa budowę nowej elektrowni jądrowej w Belene, ale nie może podjąć decyzji, czy ma być wyposażona w reaktory produkcji zachodniej czy wykorzystać posiadane elementy reaktorów rosyjskich typu WWER-1000. Wydaje się, że ta ostatnia opcja jest ostatnio najbardziej prawdopodobna.

Czechy stoją przed decyzją odnośnie rozbudowy elektrowni jądrowej w Temelinie i ze względu na posiadany przemysł od lat zaangażowany w budowę reaktorów typu WWER w rachubę wchodzi tylko ta technologia.

Polska — zobacz osobny rozdział.

Rumunia od lat przygotowuje się do rozbudowy o dwa bloki EJ Cernavoda. Dwa pierwsze bloki typu CANDU eksploatowane są od wielu lat, a dalsze dwa pozostają w fazie budowy zaawansowanej w ok. 60 i 40%. Przyczyną trwających już od kilku lat negocjacji są problemy finansowe.

Słowacja realizuje ze znacznym opóźnieniem ukończenie bloków nr 3 i 4 typu WWER-440 w EJ Mochovce, których budowa rozpoczęła się w latach osiemdziesiątych ubiegłego wieku. Pierwsze dwa bloki pracują już od 1998 i 2000 r. Wydaje się, że budowa jest bliska zakończenia, gdyż blok nr 3 ostatnio przeszedł tzw. gorące testy.

Węgry podjęły decyzję o rozbudowie EJ Paks o dalsze dwa bloki typu WWER-1200 i rozpoczęcie budowy ma nastąpić w 2020 r., a jej koszt będzie finansowany przez pożyczkę z Rosji.

Wielka Brytania ogłosiła planowane rozpoczęcie budowy dwóch bloków typu EPR w lokalizacji Hinkley Point C konstrukcji francuskiej oraz oczekiwaniu na decyzję budowy dwóch bloków typu ABWR w lokalizacji Wylfa Newydd i dwóch bloków typu AP1000 w lokalizacji Moorside. Równolegle toczą się dyskusje na temat małych reaktorów modułowych, a ostatnio zespół ekspertów wezwał rząd brytyjski do poparcia budowy takich reaktorów⁴.

² <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/US-regulators-agree-smaller-SMR-emergency-zones>

³ <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Argentina-reaches-generator-milestone-for-CAREM-25>

⁴ <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Call-for-UK-government-to-back-small-nuclear-projects>

Reasumując, wydaje się, że 2017 r. i pierwsze osiem miesięcy tego [2018] roku charakteryzują się znaczącym wzrostem dokonań w energetyce jądrowej, a szczególnie w krajach azjatyckich.

Sytuacja energetyki jądrowej w Polsce

Reaktory energetyczne dużej mocy

Od jesieni 2016 r. słyszymy stale w różnych mediach o oczekiwaniu na podjęcie decyzji o budowie pierwszej elektrowni jądrowej, najpierw do końca 2017 r., potem do połowy bieżącego [2018] roku, a obecnie, według słów ministra Tadeusza Skobla⁵ decyzja ma być podjęta do końca tego [2018] roku.

W tym czasie energetyka jądrowa pojawiła się w projekcie Strategii Zrównoważonego Rozwoju⁶ (publikacja lipiec 2016 r.), w którym napisano:

Kontynuacja Programu polskiej energetyki jądrowej – przyspieszenie opóźnionego procesu wdrażania energetyki jądrowej w Polsce. Program składa się z dwóch projektów:

1. Wsparcie i skoordynowanie krajowych przedsięwzięć w ich przygotowaniach do realizacji prac dla energetyki jądrowej,
2. Przygotowanie do budowy dwóch elektrowni jądrowych (EJ) w ramach PPEJ, o łącznej mocy ok. 6000 MW netto (4-8 jądrowych bloków energetycznych).

by w ostatecznej wersji Strategii (publikacja luty 2017 r.) ograniczyć ją do stwierdzenia

Program polskiej energetyki jądrowej – kontynuacja prac nad programem w celu dywersyfikacji źródeł energii, zmniejszenia wpływu energetyki na środowisko, rozwoju ośrodków naukowo-badawczych oraz polskiego przemysłu (w tym także z uwzględnieniem działalności eksportowej). Decyzja zasadnicza zapadnie po wykonaniu przez Ministra Energii odpowiednich analiz oraz po uzyskaniu ofert dostawców technologii, które pozwolą na określenie nakładów inwestycyjnych niezbędnych do poniesienia i potwierdzą m.in. opłacalność inwestycji w energetykę jądrową w polskich warunkach.

z przesunięciem terminu uruchomienia pierwszego bloku do 2029 r.⁷

Z zapowiadanego przez ministra Krzysztofa Tchórzewskiego rozstrzygnięcia sprawy budowy elektrowni jądrowej w marcu bieżącego [2018] roku⁸ pozostało potwierdzenie przez ministra faktu narady u premiera Mateusza Morawieckiego⁹, ale żadna oficjalne

informacja o rezultatach tego spotkania/konsultacji nie została opublikowana. Nieoficjalnie krąży wiadomość, że decyzja będzie podjęta nie wcześniej niż po jesiennych wyborach samorządowych, a być może dopiero za 3 lata [wystąpienie na posiedzeniu Zespołu Parlamentarnego ds. Energetyki Jądrowej w dniu 2 lipca 2018 r.].

W tej sytuacji istotne są opublikowane w kwietniu br. wyniki badania opinii publicznej przeprowadzone przez CBOS¹⁰ podające, że 50% ankietowanych opowiedziało się przeciwko budowie w Polsce elektrowni jądrowej, poparcie dla tej inwestycji zadeklarowało 34% respondentów, a 16% nie ma zdania. Pozostają one stabilne i CBOS przypomniał, że od 2011 r. w jego badaniach odsetek przeciwników atomu spadł z 53 do 50%, natomiast odsetek zwolenników wahał się – od 40% w 2011, 35% w 2013 r., 38% w 2016 r., do 34% w 2018 r.

Jedną z ostatnich zapowiedzi działania na rzecz energetyki jądrowej było powołanie w dniu 6 lipca br. przez Ministra Energii zespołu ds. opracowania zmian w specustawie jądrowej, aby przyspieszyć proces inwestycyjny związany z budową pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce¹¹. Głównym zadaniem zespołu ma być opracowanie projektu nowelizacji *Ustawy z dnia 29 czerwca 2011 r. o przygotowaniu i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej oraz inwestycji towarzyszących*. Prace zespołu mają trwać do 31 grudnia br.

Sytuacja energetyki jądrowej w Polsce doczekała się dokładnego omówienia na portalu NucNet¹², gdzie stwierdzono, że decyzja była kilka razy odkładana przez rząd, a obecnie można się spodziewać uruchomienia elektrowni z końcem lat 2030-tych lub na początku lat 2040-tych. Jako przyczynę opóźnienia podawane jest zerwanie umowy na badania środowiskowe z firmą Worley Parsons i brak zgody na poziomie rządu na budowę elektrowni jądrowej.

Raport Najwyższej Izby Kontroli

Najwyższa Izba Kontroli (NIK) na podstawie inicjatywy własnej oraz zgłoszenia propozycji przez Sejmową Komisję do Spraw Energii i Skarbu Państwa do planu pracy na 2017 r. przeprowadziła kontrolę realizacji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej obejmującą okres od 1 stycznia 2014 r. (tj. od przyjęcia przez Radę Ministrów Programu Polskiej Energetyki Jądrowej) do 31 października 2017 r. z uwzględnieniem zdarzeń i danych wcześniejszych o istotnym znaczeniu dla kontrolowanej działalności. Czynności kontrolne przeprowadzono w okresie od 4 lipca 2017 r. do 31 października 2017 r. i obejmowały one dwa tematy:

⁵ Skobel z ME: Aktualizacja programu energetyki jądrowej do końca roku, WysokieNapięcie, 14 sierpnia 2018 r.

⁶ <http://www.pap.pl/aktualnosci/news,577568,projekt-strategii-na-rzecz-odpowiedzialnego-rozwoju-wyslany-do-konsultacji.html>

⁷ Strategia na rzecz odpowiedzialnego rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.) <http://www.miiir.gov.pl/media/48672/SOR.pdf>

⁸ Tchórzewski: W marcu możliwe rozstrzygnięcie w sprawie budowy elektrowni jądrowej, BiznesAlert 12 marca 2018, <http://biznesalert.pl/tchorzewski-atom-marzec/>

⁹ Minister potwierdza. Było spotkanie o przyszłości atomu w Polsce, BiznesAlert, 20 kwietnia 2018, <https://biznesalert.pl/atom-polska-spotkanie/>

¹⁰ CBOS: Polacy podzieleni ws. budowy elektrowni atomowej, Biznes Alert, 5 kwietnia 2018, <http://biznesalert.pl/cbos-polacy-podzieleni-ws-budowy-elektrowni-atomowej/>

¹¹ <https://www.gov.pl/energia/minister-energii-powolal-zespol-ds-opracowania-zmian-w-specustawie-jadrowej>

¹² <https://www.nucnet.org/all-the-news/2018/03/22/special-report-poland-faces-delays-and-decisions-as-it-makes-ambitious-plans-to-go-nuclear>

- realizacja polskiego programu jądrowego i działalność spółki PGE EJ1,
- celowość wydatkowania środków finansowych na projekt elektrowni jądrowej.

Stosowny raport został opublikowany w marcu 2018 r. i dostępny jest na stronie internetowej NIK.¹³ Z tego dokumentu warto przytoczyć ocenę działań w ostatnich latach:

Spółka PGE EJ1 (70% udziałów ma w niej PGE, a po 10% Tauron, Enea i KGHM) odpowiedzialna za realizację zadań związanych z przygotowaniem i budową pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce, nie wykonała do końca września 2017 r. żadnego z działań przewidzianych w I Etapie PPEJ (dla których termin realizacji upływał w dniu 31 grudnia 2016 r.). PGE SA, wraz ze swoją spółką zależną PGE EJ1 realizowały do końca I połowy 2016 r. – wprawdzie z dużym opóźnieniem – lecz pełny zakres działań przypisanych Inwestorowi. Sygnalizowana przez Ministerstwo Energii od początku 2016 r. możliwość zmiany podejścia do koncepcji budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej spowodowała we wrześniu 2016 r. zmiany w strategii Grupy Kapitałowej PGE w zakresie priorytetów inwestycyjnych. Doprowadziło to w konsekwencji do zaniechania przez tego Inwestora realizacji działań określonych w PPEJ, z wyjątkiem badań lokalizacyjnych i środowiskowych w dwóch lokalizacjach przyszłej elektrowni jądrowej

i skonstatować fakt, że po dwóch latach stale brak nowej koncepcji finansowania budowy elektrowni jądrowej.

Z dołączonej do raportu NIK prezentacji¹⁴ warto przytoczyć ogólną ocenę realizacji PPEJ:

- Najwyższa Izba Kontroli negatywnie oceniła realizację działań określonych w PPEJ, związanych z przygotowaniem budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.
- Skutkiem nieskutecznych i nieefektywnych działań doprowadzono do kilkuletnich opóźnień w PPEJ, w porównaniu do przyjętych założeń.
- Ministrowie Gospodarki, a następnie Energii posiadając wystarczające argumenty za rozwojem energetyki jądrowej, nie kierowali wniosków do Rady Ministrów o podjęcie strategicznych decyzji w sprawie uruchomienia inwestycji budowy elektrowni jądrowej.
- W latach 2014-2017 (III kwartały) uczestnicy PPEJ wydatkowali łącznie ponad 776 mln zł, z tego 552,5 mln zł stanowiły wydatki wykazane przez podmioty administracji publicznej, zaś 223,5 mln zł wydatki PGE SA i PGE EJ1.
- Wykonane przez administrację rządową zadania związane zwłaszcza z budową otoczenia prawnego nie stanowiły przeszkody w podjęciu przygotowań do rozpoczęcia budowy pierwszej elektrowni jądrowej w Polsce.

- Państwowa Agencja Atomistyki była właściwie przygotowana do pełnienia funkcji dozoru jądrowego w zakresie zgodnym ze stanem realizacji PPEJ.
- Realizowane przez Generalną Dyрекcję Ochrony Środowiska zadania nie stanowiły zagrożenia dla terminowej realizacji PPEJ.
- Wskutek sygnalizowanych przez Ministerstwo Energii zmian w koncepcji budowy elektrowni jądrowej, Inwestor ograniczył realizację zadań do badań środowiskowych związanych z wyborem lokalizacji dla elektrowni jądrowej.

W odpowiedzi na Raport NIK Ministerstwo Energii w dniu 14 marca br. przekazało swoje stanowisko,¹⁵ ale poza ogólnie znanymi sloganami jak:

- energetyka jądrowa ma szczególne znaczenie w zakresie wyzwań stających przed Polską i sektorem produkcji energii elektrycznej,
- program rozwoju energetyki jądrowej,... to największe przedsięwzięcie w historii polskiego sektora energetycznego,
- program, ze względu na swoją specyfikę i wielkość jest programem nowatorskim, a długotrwałość jego realizacji, wymaga specyficznego i odmiennego podejścia,
- Ministerstwo Energii prowadzi aktywne działania zmierzające do rozwoju w Polsce energetyki jądrowej.

w dalszym ciągu w piśmie Ministerstwa czytamy „Sfinalizowane zostały praktycznie prace nad aktualizacją Programu polskiej energetyki jądrowej, w tym założeń dotyczących efektywnego modelu finansowania inwestycji oraz postępowania przetargowego”. Wobec czego pytam, dlaczego do końca sierpnia br. nie poznaliśmy aktualizacji PPEJ ani modelu finansowania. Fakt opóźnienia realizacji PPEJ jest bezsporny, a Ministerstwo nie proponuje podjęcia kroków zaradczych poza:

- utworzeniem przy Ministrze Energii „międzyresortowego zespołu roboczego ds. Programu polskiej energetyki jądrowej”,
- zasłanianiem się postanowieniami Kodeksu Spółek Handlowych, które „wykluczają” »mechanizm przymusu lub wydawania wiążących poleceń w stosunku do spółki«.

Spółką odpowiedzialną za realizację PPEJ wyznaczono Polską Grupę Energetyczną (PGE) już w 2010 r., powstaje zatem, pytanie dlaczego zlikwidowano stanowisko Pełnomocnika Rządu ds. Energetyki Jądrowej ani nie powołano organizacji odpowiedzialnej za implementację programu jądrowego ze strony rządowej, tak jak jest to zalecane w dokumentach MAEA (ang. NEPIO - Nuclear Energy Program Implementing Organization). Pozwoliłoby to uniknąć powstałego zamieszania dotyczącego realizacji PPEJ przez PGE i byłoby zgodne z poglądem, że pierwsze elektrownie jądrowe w każdym kraju nie powstaną bez wsparcia ze strony państwa.¹⁶

¹³ <https://www.nik.gov.pl/kontrola/P/17/018/>

¹⁴ <https://www.nik.gov.pl/plik/id,16340,vp,18865.pdf>

¹⁵ <https://www.gov.pl/energia/stanowisko-ministerstwa-energii-do-informacji-o-wynikach-kontroli-realizacji-programu-polskiej-energetyki-jadrowej-2>

¹⁶ <http://biznesalert.pl/myslecki-atom-panstwo/>

W raporcie NIK napisano wprost:

Wskutek ponad pięcioletniego opóźnienia w budowie i uruchomieniu elektrowni jądrowej — według szacunków NIK — polska gospodarka może ponosić w latach 2024-2030 dodatkowe roczne koszty z tytułu konieczności zakupu uprawnień do emisji CO₂ rządu od 1,52 do 2,66 mld zł w zależności od scenariusza.

ale nie są to wszystkie dodatkowe koszty, gdyż na przykład nie uwzględniono kosztów remontu starych bloków energetycznych dla zapewnienia dostaw energii elektrycznej w tym okresie.

Najwięcej kontrowersji w komentarzach, które pojawiły się na portalach internetowych wzbudziła podana kwota wydatków poniesionych przez podatników w programie PPEJ w porównaniu do uzyskanych wyników i tylko pozostaje mi z tym się zgodzić.

Zdaniem autora artykułu z raportu wyłania się przynębiający obraz podejmowanych działań, które określiłbym jako „urzędnicze” posuwające do przodu zbyt wolno sprawę budowy elektrowni i przygotowania odpowiednich dokumentów do zatwierdzenia przez Radę Ministrów.

Reaktor wysokotemperaturowy

Zainteresowanie reaktorami wysokotemperaturowymi w Polsce pojawiło się przy określaniu Zadania Badawczego Nr 1 pt. „Rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych” w ramach strategicznego projektu badawczego pt. „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” prowadzonego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju w latach 2011-2014.

W projekcie Strategii Zrównoważonego Rozwoju przewidziano działanie określone jako:

Wdrożenie wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych HTR do produkcji ciepła przemysłowego.

i skonkretyzowane jako projekt strategiczny przewidziany do przygotowania i realizacji do roku 2020 z tytułowany:

Kogeneracja jądrowa – przygotowanie do budowy pierwszego reaktora HTR o mocy termicznej 200-350 MW zasilającego instalację przemysłową w ciepło technologiczne

Uzupełnione to jest kilka linijek dalej konkretnym stwierdzeniem potrzeb badawczych w zakresie tych reaktorów:

Nomaten – utworzenie nowoczesnego laboratorium materiałowego zdolnego do badań i rozwoju materiałów dla IV Generacji reaktorów uranowych, reaktorów fuzyjnych i wysokowydajnych instalacji konwencjonalnych.

Natomiast zatwierdzona wersja Strategii łączy wdrożenie reaktorów wysokotemperaturowych i przygotowanie materiałów do ich budowy tych reaktorów stwierdzając:

Przygotowanie, przy wykorzystaniu polskiego potencjału przemysłowego i naukowego, wdrożeń wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych HTR do produkcji ciepła przemysłowego w skojarzeniu oraz wsparcie polskich badań i rozwoju materiałów dla IV generacji reaktorów.

Następnym działaniem było powołanie w 2016 r. w Ministerstwie Energii „Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków do wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych” w Polsce. Należy rozumieć, że były to działania prowadzone równolegle z opisanymi wyżej pracami nad tzw. wielkoskalową energetyką jądrową, tj. reaktorami o mocy w zakresie 1100-1600 MWe.

Zespołem kierował prof. G. Wrochna z NCBJ, a wyniki jego pracy opublikowane zostały w styczniu 2018 r. w raporcie pt. „Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce”.¹⁷ Dokładniejsze omówienie tego raportu ukazało się w kwartalniku PTJ.¹⁸ W konkluzji autorzy raportu napisali:

„W opinii Zespołu przedstawione w niniejszym raporcie wyniki stanowią podstawę do podjęcia przez Ministra Energii kierunkowej decyzji dotyczącej procesu wdrażania HTGR w Polsce.”

Niestety mam co do tego pewne wątpliwości, gdyż przed zastosowaniem tego reaktora jako źródła ciepła w przemyśle, przyjmując że jego konstrukcja jest prawidłowa (gdyż kilka takich reaktorów zostało uruchomionych w świecie), należy poznać jego cechy eksploatacyjne budując reaktor doświadczalny o małej mocy. Dalsze losy tej działalności nie są znane poza zapowiedzią powstania w NCBJ Centrum Nauko-Przemysłowego do wdrożenia reaktorów wysokotemperaturowych w Polsce¹⁹.

Właściwą kontynuacją zainteresowania reaktorami wysokotemperaturowymi w Polsce zapewne była, 8. z rzędu międzynarodowa konferencja HTR 2018 organizowana przez NCBJ w dniach 8-10 października br.²⁰ Jak piszą organizatorzy „Być może już wkrótce wysokotemperaturowe reaktory jądrowe będą wytwarzać w Polsce energię cieplną dla przemysłu, a w dalszej przyszłości wytwarzać wodór” i chciałbym podzielać ich optymizm.

Raport „Polska energetyka 2030”

Fundacja Przyjazny Kraj we współpracy z portalem WysokieNapiecie.pl, jako partnerem merytorycznym, opublikowała w czerwcu 2018 r. raport pt. „Polska energetyka 2030”²¹ analizujący na 34 stronach bieżącą sytuację

¹⁷ [http://www.me.gov.pl/node/28011raport ME](http://www.me.gov.pl/node/28011raport%20ME)

¹⁸ Uwagi do raportu Zespołu Ministerstwa Energii ds. reaktora wysokotemperaturowego, PTJ nr 1/2018, s.21-25

¹⁹ <https://www.gov.pl/energia/powstanie-centrum-naukowo-przemyslowe-do-wdrozenia-reaktorow-wysokotemperaturowych-w-polsce-2>

²⁰ <https://www.ncbj.gov.pl/aktualnosci/miedzynarodowa-konferencja-htr-2018-odbędzie-sie-październiku-warszawie>

²¹ http://przyjaznykraj.pl/wp-content/uploads/2018/06/Raport_FPK_Polska_Energetyka_2030.pdf

w krajowej energetyce i perspektywę do 2030 r. Do dyskusji zaproszono dziewięciu ekspertów, których wypowiedzi przedstawiono w siedmiu rozdziałach omawiających: prognozę zapotrzebowania na energię elektryczną, globalne trendy rozwoju energetyki, stan obecny sektora energetyki i górnictwa (w Polsce), możliwe ścieżki rozwoju energetyki, rola nowych technologii i energetyki prosumenckiej, rola sieci energetycznych i mechanizmy regulacyjne państwa. W rozdziale „Możliwe ścieżki rozwoju energetyki” rozpatrywano scenariusz „rezygnacji z większości starych bloków węglowych, budowę elektrowni jądrowej i nowe uzupełniające źródła gazowe”. Przyjęto dwa założenia:

- W perspektywie do 2030 r. nie jest możliwe zbudowanie i uruchomienie elektrowni jądrowej. Nieuniknione jest jednak rozpoczęcie przygotowań, gdyby miała zostać oddana do użytku niedługo po 2030 r.”
- W scenariuszu tym struktura miksu energetycznego w 2030 r. jest bardzo zbliżona do scenariusza referencyjnego, jednak nakłady na modernizację i utrzymanie mocy węglowych są dużo niższe. Elektrownia jądrowa o mocy od 3 do 6 GW wchodzi w miejsce tych właśnie źródeł.

Dalej napisano:

opinie ekspertów w zakresie wykorzystania tej technologii są rozbieżne. Poniżej przytaczamy wybrane stanowiska:

PRZECIW:

- Energetyka atomowa to bardzo ryzykowny projekt, nawet jeśli państwo regulacyjnie jakoś to ustawi, to jednak ryzyko opóźnienia czy fiaska projektu zbyt duże. Elektrownia jądrowa może mieć problemy ze zmieszczeniem się w modelu rynku UE. (Maciej Bukowski)
- Ta inwestycja nie dojdzie do skutku. W prognozach dobrze wygląda jako pomysł na wypełnienie luki podażowej, nic poza tym”. (Wojciech Cetnarski)
- Nadzieje na rozwiązanie problemu dzięki energetyce jądrowej są tylko w części uzasadnione, bo złoża uranu też należą do paliw kopalnych i nie są niewyczerpane. Nawet zastosowanie reaktorów powielających przedłuży tylko tę alternatywę o kilka pokoleń, ale nie rozwiąże problemu”. (Jan Ryszard Kurylczyk)

ZA:

- Nie wiem, czy istnieje jakaś poważna alternatywa, która zapewniłaby stabilne źródło mocy w systemie w sytuacji wygaszania w Polsce energetyki opartej na węglu. Zakładam, że nowe bloki węglowe nie będą już budowane”. (Jacek Wańkowicz)
- Elektrownia jądrowa powinna była powstać już dawno temu. Szkoda, że budowa w Żarnowcu została wstrzymana ze względów politycznych. Przy obecnej dywersyfikacji miksu paliwowego, da ona kolejne procenty zaspokojenia zapotrzebowania w miejsce węgla”. (Zygmunt Artwik)

Na zakończenie tego rozdziału dokonano syntetycznej oceny tego scenariusza wymieniając jego:

MOCNE STRONY:

- stabilne źródło mocy w podstawie,
- redukcja emisji CO₂,
- przewidywalność cen energii

SŁABE STRONY:

- konieczność zapewnienia elastycznych mocy, które zrównoważą zmienność przybywających OZE,
- uzależnienie od koniunktury na rynku paliwa do reaktorów jądrowych,
- konieczność tworzenia rezerw na późniejszy decommissioning,
- nakłady szacowane obecnie przez Ministerstwo Energii na 70-75 mld zł,
- niedostosowanie do kierunku, w jakim rozwija się system elektroenergetyczny: elastycznych źródeł.

Przytoczone wyżej opinie specjalistów z branży energetyki można traktować jako interesujący głos w toczącej się dyskusji o przyszłości energetyki w Polsce i warte szerszego poznania, dlatego pozwoliłem sobie je w całości przytoczyć.

PGE Raport Zintegrowany 2017

Polska Grupa Energetyczna wyznaczona w 2010 r. jako spółka skarbu państwa do realizacji programu energetyki jądrowej opublikowała w czerwca 2018 r. broszurę pt. „PGE Raport Zintegrowany 2017”²², z którym warto się zapoznać. Na schemacie działań strategicznych pojawia się elektrownia jądrowa począwszy od 2025 r. zaznaczona ciągłą linią, a od 2035 r. nawet reaktory HTR/SMR zaznaczone linią przerywaną. Wersja skrócona (broszura) w tekście zawiera jedną krótką informację o działaniach bieżących, a mianowicie:

Trwa również wstępna faza przygotowania do realizacji projektu jądrowego. Koncentrujemy się na przeprowadzeniu badań lokalizacyjnych i środowiskowych do momentu przygotowania Raportu z oceny oddziaływania przedsięwzięcia na środowisko i Raportu Lokalizacyjnego.

Natomiast wersja pełna, oprócz omówionego wyżej schematu, podaje strukturę organizacyjną Grupy Kapitałowej PGE z zaznaczeniem spółki PGE EJ1 z udziałem kapitałowym na poziomie 70%, a reszta to, jak wiemy KGHM, TAURON i Enea, mają udział po 10% każda. Natomiast w rozdziale Nasza Strategia znalazło się zdanie:

Widzimy możliwość budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej, po wypracowaniu modelu gwarantującego efektywność ekonomiczną inwestycji.

Trzeba przyznać, że jak na spółkę skarbu państwa wyznaczoną do realizacji PPEJ jest to bardzo mało, a Ministerstwo Energii nie widzi możliwości działań nakazowych w stosunku spółek handlowych, jak to było stwierdzone w odpowiedzi Ministerstwa Energii na zastrzeżenia pokontrolne Najwyższej Izby Kontroli.

²² <https://raportzintegrowany2017.gkpge.pl/wersja-pelna>

List do premiera Mateusza Morawieckiego

Należy jeszcze wspomnieć, że w maju br. został wysłany do premiera Mateusza Morawieckiego list czterech prezesów, niżej podanych organizacji społecznych:

- Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych NOT
- Polskie Towarzystwo Nukleoniczne
- Stowarzyszenie Ekologów na rzecz Energetyki Jądrowej
- Stowarzyszenie Elektryków Polskich

z prośbą o „objęcie programu PPEJ szczególnym nadzorem, zapewnienie mu wsparcia Rządu Rzeczypospolitej i usunięcia przeszkód na rzecz jego realizacji”. W odpowiedzi, którą podpisał Tadeusz Skobel, Podsekretarz Stanu w Ministerstwie Energii znalazło się potwierdzenie potrzeby budowy elektrowni jądrowej poparte ogólnie znanymi argumentami, ale uwarunkowane uzyskaniem „akceptacji politycznej na poziomie Rady Ministrów”. Można odnieść wrażenie, że list nie trafił do adresata i wraz z odpowiedzią utknął na poziomie pana Michała Dworczyka, szefa kancelarii Prezesa Rady Ministrów. W tym przekonaniu utwierdza autorów listu brak postępu w sprawie energetyki jądrowej po trzech miesiącach od otrzymania odpowiedzi.

Podsumowanie

Sytuacja energetyki jądrowej na świecie rozwija się różnie w poszczególnych regionach geograficznych i państwach. Niekwestionowanym liderem w budowie nowych bloków są Chiny ze względu na potrzebę zapewnienia dostaw energii dla ludności i przemysłu. O drugie miejsce rywalizują dwa kraje: Indie dla zaspokojenia potrzeb wewnętrznych i Rosja, która dostarcza najwięcej reaktorów na eksport. Europa Zachodnia, Stany Zjednoczone Ameryki i Kanada skoncentrowały się na utrzymaniu obecnego potencjału produkcji w elektrowniach jądrowych. Równolegle prowadzone są intensywne prace nad projektowaniem i budową małych reaktorów modułowych jako określonej alternatywy do reaktorów dużej mocy. Według dotychczasowych zapowiedzi uruchomienia pierwszego takiego reaktora stacjonarnego można spodziewać się w 2020 r. w Argentynie, a innych do połowy przyszłej dekady.

Sytuacja w Polsce charakteryzująca się stałym odkładaniem decyzji w sprawie budowy pierwszej elektrowni jądrowej jest przedmiotem zaniepokojenia nielicznej grupy osób związanych od lat z techniką jądrową. Nie da się ukryć, że są dwie przyczyny powstałego opóźnienia. Pierwsza, chyba główna, spowodowana jest brakiem przyjętego przez rząd dokumentu, jakim jest „Polityka energetyczna Polski do roku 2050”, którego projekt został przekazany do konsultacji społecznych i międzyresortowych w sierpniu 2015 r.,²³ a wobec zmiany rządu nie został do dziś zatwierdzony przez rząd. Drugi leży w odejściu od lansowanego od 2010 r. tzw. podejścia zintegrowanego do budowy elektrowni jądrowej, tzn. wyboru dostawcy technologii, który zajmie się całością budowy, a finansowanie zapewnione będzie przez tzw. kontrakt różnicowy

(jak przyjęto przy budowie elektrowni jądrowej w Wielkiej Brytanii). Inna koncepcja finansowania budowy elektrowni jądrowej w Polsce, która zrodziła się w nowym Ministerstwie Energii w 2016 r., stale pozostaje nieujawniona i nie może zyskać aprobaty na poziomie Rady Ministrów mimo od trzech lat powtarzanych obietnic ze strony Ministra Energii. Bez jej zatwierdzenia na poziomie rządowym lub lepiej parlamentarnym wszystkie inne prace toczą się w zwolnionym tempie i jak napisano w raporcie NIK, zostały ograniczone do badań środowiskowych w dwóch z początkowo planowanych trzech lokalizacji. Obecnie słyszy się opinie, że wybór lokalizacji nad Jezioro Żarnowieckim uniemożliwi budowę tam elektrowni o mocy ok. 3000 MWe składającej się z dwóch bloków.

Wszystko, co napisano wyżej dotyczy energetyki jądrowej dużej mocy jak przyjęto przy podejmowaniu decyzji w 2009 r. i budowy dwóch elektrowni o mocy ok. 3000 MWe każda. Natomiast sytuacja w światowym przemyśle jądrowym od tego czasu ulega zmianie. Wybrane kraje kontynuują ten kierunek, ale równolegle prowadzone są prace nad konstrukcją reaktorów małej mocy w różnych technologiach. Szczególnie interesująca wydaje się technologia zintegrowanych reaktorów wodno-ciśnieniowych (iPWR) o mocy rzędu 200 MWe, które są znacznie łatwiejsze i tańsze w budowie, a przede wszystkim wywodzi się ona ze sprawdzonych konstrukcyjnie i eksploatacyjnie reaktorów PWR. Niestety oficjalnie reaktory te nie spotykają się z pozytywną oceną w Ministerstwie Energii, a po uzyskaniu zezwolenia dozoru jądrowego w innych krajach mogłyby stanowić za kilka lat alternatywę zastępowania wycofywanych z eksploatacji konwencjonalnych bloków o takiej samej mocy. Innym kierunkiem, popieranym przez Ministerstwo są prace nad reaktorem wysokotemperaturowym przeznaczonym do produkcji ciepła przemysłowego, ale doświadczenie eksploatacyjne tych reaktorów jest bardzo ograniczone i planowanie jednoczesne prac nad reaktorem doświadczalnym i przemysłowym bez zebrania doświadczeń z dostatecznie długiej eksploatacji tego pierwszego jest mało rozsądne.

Na zakończenie mam prośbę, by Minister Energii pan Krzysztof Tchórzewski nie rozpowszechniał nieprawdziwych informacji o tym, że «Polska decyzją ZSRK mogła rozwijać jedynie energetykę węglową, a inne kraje Układu Warszawskiego „dostały pozwolenie” na atom. Powodem miał być fakt, że Polacy byli „bardziej stawiający się”» jak to miało miejsce na ostatnim Forum Ekonomicznym w Krynicy (cytuję za portalem BiznesAlert²⁵) oraz o składowaniu rosyjskiego wypalonego paliwa jądrowego w Krajowym Składowisku Odpadów Promieniotwórczych w Różanie (co można było usłyszeć w zapisie Rozmów Niedokończonych w TV Trwam z dnia 26 lipca 2018 r.²⁶), gdyż żyją jeszcze ludzie pamiętający tamte czasy.

dr inż. Andrzej Mikulski
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa

²³ <https://www.energetyka24.com/polityka-energetyczna-polski-do-2050-r-atom-zastapi-wegiel-koniec-lupkowej-rewolucji>

²⁴ <https://biznesalert.pl/tchorzewski-forum-ekonomiczne-krynica-ostroleka/>

²⁵ <http://tv-trwam.pl/film/rozmowy-niedokonczone-26072018>

DLACZEGO ODNAWIALNE ŹRÓDŁA ENERGII NIE WYSTARCZĄ DLA POLSKI

Why Renewable Energy Sources are not sufficient for Poland

Andrzej Strupczewski

Streszczenie: Wbrew twierdzeniom aktywistów przedstawiających energetykę wiatrową i słoneczną jako najtańsze źródła energii elektrycznej, bez dużych subsydiów ich rozwój ustaje, gdy tylko przerywane są dopłaty ustalane przez władze państwowe. Widać to dobrze na przykładach z USA i z Wielkiej Brytanii. W wielu krajach jak Hiszpania, Włochy, Grecja, Czechy i Słowacja względy finansowe zmusiły ich rządy do redukcji subsydiów, co spowodowało drastyczne zahamowanie budowy nowych instalacji OZE. Głównym powodem wysokich cen energii z OZE jest ich przerywany charakter pracy. Widać to najlepiej na przykładzie Niemiec, gdzie brak energii z wiatru i słońca trwa nieraz po 5-6 dni i nocy. W efekcie Niemcy dokładają do OZE rocznie 25-26 mld euro, ceny energii elektrycznej są niemal dwukrotnie wyższe niż we Francji bazującej na energii jądrowej, a emisje CO₂ wcale nie maleją. W Polsce, mającej warunki wiatrowe i słoneczne gorsze niż Niemcy, OZE nie są dobrą drogą do rozwoju elektroenergetyki.

Abstract: Although green activists claim that the wind and the sun are the cheapest sources of electricity, their development stops whenever the states stop paying large subsidies for renewable energy sources (REN). This is clearly shown on the examples from the USA and UK. Heavy financial burdens become too much for many countries, and Spain, Italy, Greece, Czech and Slovak Republics have been forced to drastically reduce or even stop subsidies for REN, which resulted in stopping construction of new REN installations. The main reason for high price of energy from REN is the intermittent character of their operation. This is best seen on the example of Germany, where the lack of electricity production from wind and solar installations can last for four or five consecutive days and nights. In the result, Germany pays 25-26 billion euro every year to REN developers and the electricity prices paid by individual users are nearly twice higher than in France, which bases its power industry on nuclear reactors. And all German efforts do not bring down CO₂ emissions. In Poland, where wind and solar conditions are worse than in Germany, choosing REN would not be a good solution for the power industry development.

Słowa kluczowe: subsydia dla OZE, zahamowania rozwoju OZE, przerwy w pracy wiatraków i paneli słonecznych w Niemczech, wpływ OZE na ceny elektryczności

Keywords: subsidies for renewable energy sources REN, stopping REN development due to the lack of subsidies, intermittent operation of wind and solar power in Germany, REN development impact on electricity prices.

Dlaczego odnawialne źródła energii nie wystarczą dla Polski

W 2017 r. Ministerstwo Energii zorganizowało konferencję „Promieniujemy na całą gospodarkę – Polski przemysł dla elektrowni jądrowej”, która wykazała, że polski przemysł jest dobrze przygotowany do udziału w budowie polskich elektrowni jądrowych, a nakłady finansowe na budowę w znaczącej części pozostaną w kraju, przyczyniając się do rozwoju technologicznego i podniesienia konkurencyjności międzynarodowej polskich firm pracujących dla energetyki. Wzbudziło to ataki lobbystów odnawialnych źródeł energii (OZE), twierdzących, że OZE są najtańszą drogą do rozbudowy naszej elektroenergetyki¹. Zwolennicy OZE piszą też, że „koszty bilansowania nawet najbardziej pogodowo zależnych OZE nie przekraczają 5 Euro/MWh” co jest jaskrawo sprzeczne z ocenami OECD, opracowanymi przy aktywnym współudziale ekspertów niemieckich, o czym piszemy poniżej. Intensywna pro-

paganda na rzecz OZE ma na celu odwrócenie uwagi od negatywnych trendów jakie wystąpiły w ostatnim czasie w postawach rządów w Ameryce i w Europie wobec OZE.

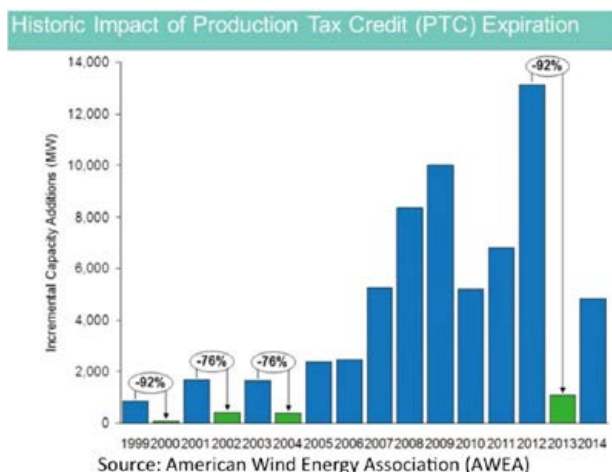
Prezydent USA Donald Trump w swojej książce w rozdziale o energetyce zatytułowanym „bicie piany” pisze ostro o propagandzie na rzecz OZE, a szczególnie wiatraków jako o „tworzeniu drogich i często zbędnych technologii, które rzekomo mają zaspokoić nasze potrzeby energetyczne”. Podkreśla szkody, jakie wiatraki wyrządzają środowisku, pisząc „turbiny niszczą urodę tego pięknego miejsca”, „...szkody, jakie panele słoneczne lub farmy wiatrowe mogą wyrządzić środowisku...”, „energia wiatrowa jest przesadnie kosztowna i nieefektywna, jeśli chodzi o obniżenie emisji CO₂”, „...budowa tych gigantycznych konstrukcji stalowych powoduje dalsze zniszczenie środowiska.” I konkluduje „Podstawą polityki energetycznej jest wstrzymanie alternatywnych, czyli »zielonych« źródeł energii do czasu, gdy technologia umożliwi ich opłacalną produkcję...”²

¹ http://odnawialny.blogspot.com/2017/01/odnawialny-atom-w-bednym-kole_27.html?m=1

² D. Trump: Crippled America . How to make America Great Again, 2015. Fijorr Publishing Company

Stanowisko prezydenta Trumpa jest dobrze uzasadnione bankructwami firm rozwijających OZE w USA³ i ciągłymi żądaniem subsydiów dla rzekomo konkurencyjnych wiatraków i paneli słonecznych. Główne wsparcie na szczeblu federalnym zapewnia ulga podatkowa dla wiatraków (wind Production Tax Credit (PTC)), wprowadzona przez Ustawę o Polityce Energetycznej z 1992 r. Zapewnia ona subsydia w wysokości \$21,50/MWh przez pierwsze 10 lat eksploatacji wiatraka. Pierwotnie miała dać tylko pierwszy bodziec do rozwoju OZE, w związku z czym wygasła kilkakrotnie w ciągu 23 lat. Za każdym razem inwestycje w wiatraki w USA natychmiast załamywały się i za każdym razem Kongres wznawiał subsydia.⁴

Obrazuje to dobitnie wykres opublikowany przez Amerykańskie Towarzystwo Energetyki Wiatrowej (AWEA). Czemu AWEA opublikowała ten wykres, wyraźnie zaprzeczający tezie o konkurencyjności ekonomicznej wiatraków? Powód był prosty – AWEA starała się o kolejne przyznanie subsydiów dla wiatraków i straszyla Kongres widmem załamania przemysłu wiatrowego. Podobnie w Polsce, gdy lobby OZE chciało przeformować projekt wysokich dopłat, przeznaczone dla Sejmu publikacje Polskiego Stowarzyszenia Energetyki Wiatrowej podawały wysokie koszty energii z wiatraków, podczas gdy dla szerokiej publiczności przeznaczone były broszury podkreślające, że „wiatr jest za darmo...”



Rys. 1. Wpływ subsydiów na budowę farm wiatrowych (MWe mocy nominalnej) w USA

Zielone słupki oznaczają lata po obcięciu subsydiów. (źródło – Amerykańskie Towarzystwo Energetyki Wiatrowej AWEA) [<https://curryja.files.wordpress.com/2015/05/images-for-wind2.jpg>]

Fig. 1. Historic impact of production tax credit expiration on wind farm construction in the USA. Green bars show the years after subsidies expiration

Podobnie wygląda sytuacja paneli fotowoltaicznych. Ich instalacja jest opłacalna tylko pod warunkiem dużych subsydiów dla inwestorów, płaconych przez zwykłych odbiorców w ramach obowiązkowej dopłaty do OZE. A wskutek przerywanej pracy wiatru i słońca nawet i subsydia nie zawsze wystarczają. Poprzednia administracja USA pod

kierunkiem prezydenta Obamy wielokrotnie udzielała nadzwyczajnych zasiłków firmom OZE, ale mimo to bankrutowały. Wartość akcji największej w USA firmy budującej elektrownie fotowoltaiczne Solar/City zmalała w ciągu 2 lat od lutego 2014 do maja 2016 r. z 86,14 do 18,6 USD/akcję⁵.

W Wielkiej Brytanii rząd w lipcu 2015 r. podjął decyzję o zlikwidowaniu „zielonych” celów ustalonych poprzednio przez koalicję z liberalnymi demokratami⁶, ponieważ odbiorcy energii muszą już obecnie płacić dodatkowo 1,5 mld funtów na subsydia dla farm wiatrowych, panele słonecznych i instalacji spalania biomasy. Koszty farm wiatrowych stale rosną i wymykają się spod kontroli. Według źródeł rządowych, projekty „zielone” będą w 2020 r. wymagały subsydiów 9 mld funtów szterlingów rocznie. Oznacza to, że każde gospodarstwo domowe będzie musiało wtedy płacić dodatkowo 170 funtów szterlingów rocznie, aby wspomagać odnawialne źródła energii. Rząd brytyjski oświadczył, że tak wielkie wydatki oznaczają, że najwyższy czas ograniczyć nakłady na subsydia dla energii odnawialnej. Prasa brytyjska już od kilku lat alarmuje, że rozwijanie OZE prowadzi do wzrostu cen energii elektrycznej, nie dając żadnego zabezpieczenia zasilania elektrycznego⁷. I rzeczywiście, w wyborach 2015 r. konserwatyści poszli do walki pod hasłem ograniczenia rozwoju wiatraków, których lokalizowanie miało wymagać zgody władz lokalnych⁸ i — wygrali wybory⁹.

Aktywiści OZE twierdzą, że wiatr i słońce dają w Wielkiej Brytanii energię tańszą od innych źródeł. Redukcja subsydiów brytyjskich skutkuje natychmiast zatrzymaniem rozwoju tych rzekomo konkurencyjnych ekonomicznie instalacji. Lobby wiatrowe oskarża rząd brytyjski o tłumienie postępu OZE. Faktem jest, że szereg kosztownych inwestycji wiatrowych wstrzymano, postęp w budowie MFW jest bardzo wolny¹⁰, a wiele tysięcy tzw. „zielonych” miejsc pracy zniknęło¹¹. Redukcje subsydiów dla MFW spowodowały wycofywanie deweloperów farm wiatrowych z rynku brytyjskiego¹². I to, pomimo że ceny równowagi (*strike price*) zaplanowane dla OZE (wiatr na morzu 135 GBP/MWh, na lądzie 95 GBP/MWh, panele fotowoltaiczne 125 GBP/MWh) są wyższe niż dla energii jądrowej (89,5 GBP/MWh dla elektrowni jądrowych budowanych w Hinkley Point C i w Sizewell C)¹³.

⁵ <http://www.marketwatch.com/story/solarcitys-identity-crisis-pushes-stock-lower-2016-05-10>

⁶ UK Chancellor To Abolish Coalition's Green Tax Target The Sunday Telegraph, 5 July 2015

⁷ Green Obsession Puts Millions of Families At Risk of Power Cuts, Fuel Poverty CCNet 24/02/13

⁸ UK Climate Minister Voted Out, Green LibDems Wiped Out, The Mirror, 8 May 2015

⁹ S. Twidale: Britain Moves To Slash Renewable Subsidy Costs Reuters, 22 July 2015

¹⁰ http://www.theecologist.org/News/news_analysis/2924025/all_at_sea_governments_strong_talk_on_offshore_wind_masks_feeble_ambition.html

¹¹ <http://www.businessgreen.com/bg/news/2461277/more-than-half-of-jobs-in-uk-solar-industry-lost-in-wake-of-subsidy-cuts>

¹² T. Bawden Many Green Power Farms Planned For UK Will Not Be Built The Independent, 27 November 2015

¹³ <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-subsidies-and-external-costs.aspx> November 2016

³ Morning Bell: The Green Graveyard of Taxpayer-Funded Failures, Amy Payne, July 24, 2012

⁴ Rud Istvan: True costs of wind electricity, May 12, 2015

W ramach akcji propagandowej Greenpeace zamieścił na stacjach metra brytyjskiego afisze twierdzące, że koszty OZE zmalały dwukrotnie – ale po proteście obiektywnej organizacji Global Warming Policy Foundation zajmującej się sprawami ocieplenia globalnego i pod groźbą oskarżenia sądowego o kłamstwo afisze te zostały wycofane¹⁴. Ekspert fundacji GWPF udowodnił, że w rzeczywistości koszty energii z OZE nie zmalały, a przeciwnie wzrosły, zaś niskie liczby podawane w przetargach są formą reklamy i metodą na zarezerwowanie sobie miejsca na morzu bez potrzeby ponoszenia kosztów w razie wycofania się za kilka lat z tych propozycji¹⁵.

Hiszpania, obciążona ogromnym długiem wskutek subsydiów dla OZE¹⁶ zdecydowała się na radykalne zmiany i redukcję subsydiów, co naraziło ją na pozwy sądowe ze strony deweloperów wiatraków i źródeł fotowoltaicznych. W 2014 r. okazało się, że wielkość subsydiów płaconych przez skarb Hiszpanii deweloperom OZE na panele słoneczne doszła do 200 mld euro. Pozostałe 143 mld euro mają być wypłacone w ciągu następnych 20 lat, głównie na farmy fotowoltaiczne, które już zostały podłączone do systemu energetycznego¹⁷. Budżet Hiszpanii nie wytrzymuje tych obciążeń. Ostatecznie sądy utrzymały decyzje rządowe w mocy, stwierdzając, że Hiszpanii nie stać na tak wysokie, jak dotychczas wsparcie finansowe dla OZE.

Efekt? Od 2014 r. inwestorzy OZE opuszczają Hiszpanię¹⁸. Jak podało hiszpańskie stowarzyszenie branży wiatrowej Asociacion Empresarial Eolica (AEE), w ciągu całego 2014 r. w Hiszpanii nie zainstalowano żadnej elektrowni wiatrowej¹⁹. A rząd hiszpański mimo programowej niechęci do energii nuklearnej utrzymuje elektrownie jądrowe w ruchu, bo dają one tanią energię elektryczną.

Włochy po nagromadzeniu deficytu 200 mld euro spowodowanego przez subsydia na OZE, zdecydowały się na retroaktywne cięcia subsydiów²⁰ na panele fotowoltaiczne, a w styczniu 2015 r. rząd oznajmił, że wstrzymuje subsydia dla paneli fotowoltaicznych²¹.

W Grecji od stycznia 2015 r. rząd zwalcza lobbystów OZE, nazywając instalacje wiatrowe i słoneczne zagrożeniem dla narodowego bezpieczeństwa energetycznego²².

Finlandia w maju 2015 r. zredukowała o 500 MWe pułap mocy farm wiatrowych, jakie mogą powstać w tym kraju do 2020 r.²³.

W Czechach od stycznia 2014 r. rząd wstrzymał subsydia dla nowych instalacji OZE, podobnie jak rząd Słowacji, gdzie subsydia pozostały tylko dla paneli fotowoltaicznych montowanych na dachach.²⁴

Jak widać, względy finansowe zmuszają kolejno kraje europejskie do odwracania się od energetyki odnawialnej.

Przyjrzyjmy się teraz twierdzeniom o rzekomej przewadze ekonomicznej morskich farm wiatrowych (MFW) nad energią jądrową.

Niemiecki koncern energetyczny E.ON zainwestuje ponad 1,9 mld euro w morską farmę wiatrową u brzegów Wielkiej Brytanii, 13 km na południe od wybrzeży Sussex County. Południowe wybrzeża Anglii należą do najbardziej wietrznych i dające się wykorzystać w siłowniach wiatrowych wiatry wieją tam ponad 300 dni w roku²⁵, trudno więc o lepszą lokalizację. Na elektrownie składać się będzie 116 turbin wiatrowych o mocy 3,45 MW każda. Cała elektrownia osiągnie moc rzędu 400 MW. Koncern szacuje, że pozwoli ona wygenerować 1400 GWh energii elektrycznej rocznie. Oznacza to współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej równy 0,40. Jednostkowe nakłady inwestycyjne wyniosą więc 1900 mln EUR/ (400 × 0,4) = 11,87mln EUR/MWe mocy średniej. **Jest to wartość 3-krotnie większa od nakładów na elektrownię jądrową.** A minusy finansowe OZE wcale na tym się nie kończą.

Budowa źródeł wiatrowych lub słonecznych pracujących z wieloma przerwami i zmieniających swą moc w zależności od pogody oznacza wielkie dodatkowe koszty dla systemu energetycznego. Według ocen ekspertów niemieckich koszty te wynoszą od 25 do 35 euro/MWh przy udziale OZE ok. 30-40%²⁶, a według analiz komitetu energetycznego OECD przy udziale wiatru w produkcji energii elektrycznej 30% **koszty integracji farmy wiatrowej z siecią wyniosą 32 euro/MWh, a instalacji fotowoltaicznych 62 euro/MWh**²⁷. Jest to zrozumiałe w sytuacji, gdy przerwy w dostawach prądu z instalacji OZE wynoszą 5 dni i nocy jak w Niemczech w 2014, 2015, 2016 r. lub w Polsce. Przykład zaniku dostaw z OZE w Niemczech pokazano na rys. 2, cytowanym za zezwoleniem Instytutu Fraunhfera będącego głównym wsparciem rządowym dla OZE w Niemczech.

To National Security PV Magazine, 19 June 2015

²³ Finland 'Shuts The Door' On New Wind Farms Montel News, 28 May 2015

²⁴ <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-subsidies-and-external-costs.aspx> November 2016

²⁵ E.ON inwestuje niemal 2 mld euro w wielką elektrownię wiatrową, WNP.PL (DM) 18-05-2015

²⁶ Integration costs revisited – An economic framework for wind and solar variability <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114005357>

²⁷ Nuclear Energy and Renewables: System Effects in Low-carbon Electricity Systems © OECD 2012 NEA No. 7056 Nuclear Energy Agency - Organisation For Economic Co-Operation And Development

¹⁴ Liz Hull: Green Activists Withdraw Adverts Which Falsely Claim Price Of Wind Energy Has Fallen By 50% Daily Mail, 27 December 2017

¹⁵ Hughes G., Aris C., Constable J. Offshore wind strike prices, Behind the headlines , GWPF Briefing 26, 2017

¹⁶ Ben Sills Spain's Solar Deals Face Bankruptcy As Subsidies Founder, Bloomberg, 18 October 2010

¹⁷ Spanish Lesson For Obama: Green Energy Transition Unaffordable, May Crash Soon Die Welt, 31 May 2014

¹⁸ Green Investors Abandon Spain After Renewable Subsidies Are Cut, Financial Times, 24 June 2014

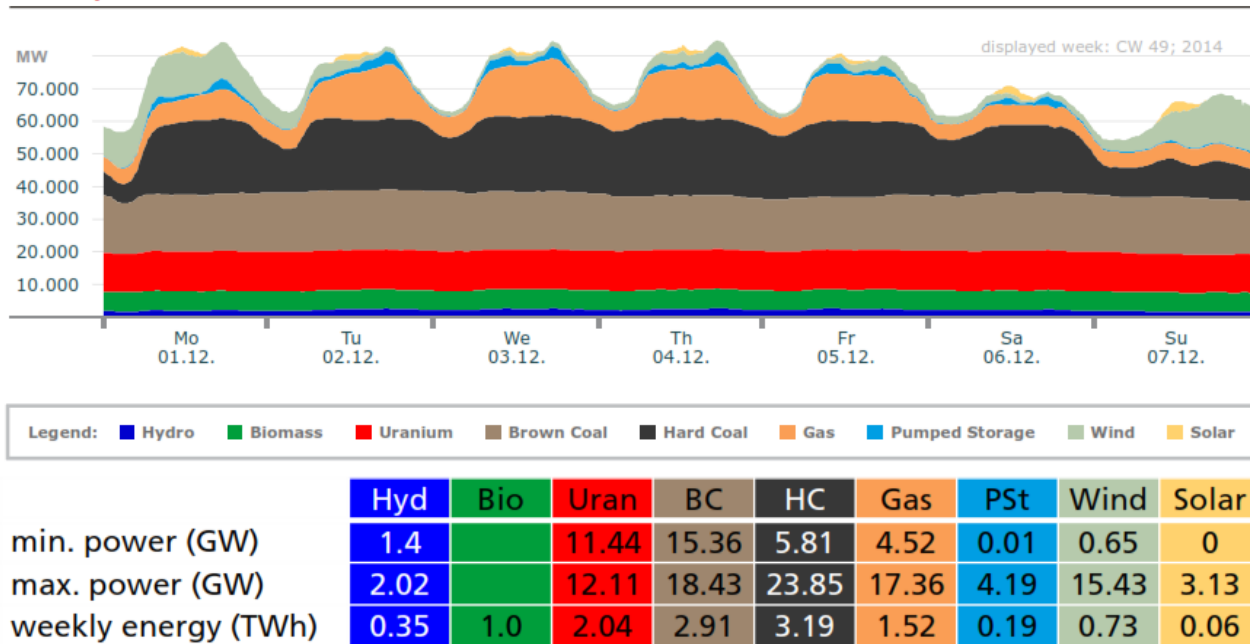
¹⁹ <http://www.cire.pl/item,114810,1,0,0,0,0,hiszpanie-juz-nie-buduj-elektrowni-wiatrowych.html> 28.07.2015r. <http://dailycaller.com/2016/01/26/spain-green-energy-production-crippled-as-subsidies-removed/>

²⁰ Facing €200 Billion Solar Bill, Italy Plans Retrospective Subsidy Cuts Reuters, 23 June 2014, <http://uk.reuters.com/article/2014/06/23/italy-solar-subsidies-idUKL6N0P41TW20140623>

²¹ <http://www.world-nuclear.org/information-library/economic-aspects/energy-subsidies-and-external-costs.aspx> November 2016

²² Ilias Tsagas Greece Turns To Coal, Calls Renewable Energy A Threat

Actual production



Graph: Bruno Burger, Fraunhofer ISE; Data: EEX Transparency Platform

Rys. 2. Mimo mocy wiatru i fotowoltaiki wynoszącej 74 000 MWe, przez 5 dni i nocy obciążenie w sieci elektrycznej Niemiec pokrywały elektrownie jądrowe, węglowe i gazowe

Fig. 2. Although the total power of wind and solar panel installation in Germany was 74 000 MWe, the electricity needs were over 5 days and nights covered by nuclear, coal and gas power stations

Czy te wysokie koszty OZE oznaczają, że morskie farmy wiatrowe i wiatraki na lądzie już nie będą budowane? Nie, rozwój OZE będzie trwał, (zwłaszcza że jest wymuszany zobowiązaniami wynikającymi z polityki energetyczno-klimatycznej UE), ale jest kosztowny i — wbrew twierdzeniom lobby wiatrowego — nie widać perspektywy spadku wynikających zeń obciążeń finansowych. Subwencje te rosną ciągle. Gdy zwolennicy „transformacji energetycznej” dochodzili w Niemczech do władzy, twierdzili oni, że koszty eliminacji elektrowni jądrowych i wprowadzenia wiatraków i paneli fotowoltaicznych będą zanedbywalnie małe, a odnawialne źródła energii zapewnią ciągłe i niezawodne zasilanie całego kraju. Lider partii zielonych, Jürgen Trittin obiecywał w 2004 r., że obciążenie domowego gospodarstwa niemieckiego subwencjami na OZE wyniesie 1 euro miesięcznie – tyle ile kosztuje porcja lodów. W rzeczywistości, subwencje na OZE szybko rosły. Jeszcze za rządów następnego aktywisty OZE pana Sigmara Gabriela jego ministerstwo środowiska mówiło politykom, że koszty subsydiów na panele słoneczne nie przekroczą 3 euro na miesiąc²⁸, czyli miało to być w skali kraju nie więcej niż mld euro rocznie. Już w latach 2009-2010 łączne dopłaty do energii wiatrowej i słonecznej były w przedziale 8-10 mld euro rocznie, w 2011 r. wzrosły do 13,5 a w 2012 r. do 14,1 mld euro rocznie.

W 2011 r. niemieccy lobbyści OZE wprowadzili ustawę o transformacji energetycznej „Energiewende”, która zapewniła, że w Niemczech za energię z farm wia-

trowych na morzu trzeba będzie płacić producentowi 190 euro za MWh, za geotermiczną 250 euro za MWh i za energię ze spalania biomasy 140 euro za MWh²⁹. W tym czasie we Francji za energię z elektrowni jądrowych płacono 42 euro za MWh.

W październiku 2012 r., gdy okazało się, że prawie wszystkie prognozy dotyczące kosztów rozwoju wiatraków i paneli fotowoltaicznych w Niemczech były błędne, z kosztami zaniżonymi przynajmniej dwa a czasem pięć razy³⁰, a na subsydia dla zielonej energii w 2013 r. potrzeba było ponad 20 mld euro/rok, Niemcy odczuli to jako szok. Oburzone organizacje przemysłowe oświadczyły, że ciężar subsydiów dla zielonej energii „osiągnął poziom trudny do zaakceptowania, grożący ucieczką przemysłu z Niemiec”. Stowarzyszenia konsumentów skarżyły się, że 800 tys. rodzin w Niemczech nie może już zapłacić rachunków na elektryczność³¹.

Więc rząd niemiecki przyrzekł, że dopłaty na OZE będą mniejsze – po czym dopłaty rosły i rosły. W 2014 r. subwencje na OZE oraz na modyfikację sieci przesyłowej koniecznej dla potrzeb OZE doszły do 24 mld euro rocznie. W połowie 2014 r. rząd wprowadził ograniczenia subwencji na wiatr na lądzie i panele fotowoltaiczne, ale łączne subwencje rosły nadal. W 2015 r. doszły do 28 mld euro na rok. Według ocen analityków niemieckich z Niemieckiego Instytutu Ekologii ten poziom

²⁹ <http://www.wind-works.org/FeedLaws/Germany/GermanyPassesNewRenewableEnergyLawfor2012.html>

³⁰ Die krassen Fehlprognosen beim Ökostrom Die Welt, 20 October 2012

³¹ Focus Magazin, 15 October 2012 Focus Magazin, 15 October 2012

²⁸ <http://alexander-wendt.com/blog/wir-schaffen-das-teil-eins/>

subwencji będzie utrzymywał się jeszcze przez wiele lat, przy czym do roku 2024 subwencje na OZE będą rosły³². A koszty te ponoszą odbiorcy energii elektrycznej – zwłaszcza gospodarstwa domowe, wskutek czego energia elektryczna jest w Niemczech niemal dwukrotnie droższa, niż w sąsiedniej Francji, opierającej swą elektroenergetykę na elektrowniach jądrowych.

Według niemieckiego Instytutu Gospodarki (*Institut der deutschen Wirtschaft*) w 2016 r. koszty dodatkowych subwencji w ramach „Energiewende” znów wzrosły i doszły do 31 mld euro /rok³³. Trzeba dodać, że **przy tych kolosalnych wydatkach Niemcom nie udało się w ciągu ubiegłych 7 lat zmniejszyć emisji CO₂**³⁴. To efekt sukcesywnego, przymusowego wyłączania z eksploatacji jądrowych bloków energetycznych i zastępowania ich blokami opalnymi węglem brunatnym, a także regulowania zmiennej i nieprzewidywalnej produkcji źródeł OZE, co skutkuje zwiększonymi emisjami CO₂ na jednostkę wytwarzanej energii elektrycznej (wskutek spadku sprawności wytwarzania w blokach elektrowni ciepłych zapewniających rezerwę „wirującą”, oraz wykorzystania „stojących” rezerw mocy).

A jak wyglądałaby perspektywa dla rodzin polskich, gdyby nasza gospodarka poszła śladem Niemiec?

Przy ludności Niemiec wynoszącej 81,2 mln mieszkańców, roczne subwencje w wysokości 31 mld euro oznaczają dodatkowy wydatek dla rodziny 4-osobowej równy 1520 euro/rok. Odpowiednikiem tego w Polsce byłaby suma dodatkowych wydatków na elektryczność ze źródeł odnawialnych równa przy 4-osobowej rodzinie 6680 PLN/rok. Czy Polacy zgodzą się na takie dopłaty?

Obecnie polski rząd rozważa, jakie źródła energii mają znaleźć się obok węgla w polskim miksie energetycznym. Możemy wybrać wiatr i słońce – z wysokimi kosztami i niepewnością zasilania – albo energetykę jądrową. W przypadku postawienia na OZE konsekwencje dla obciążeń finansowych Polaków byłyby duże. Warto więc brać pod uwagę nie deklaracje, ale rzeczywiste doświadczenia innych krajów. A w szczególności opracowane przez EUROSTAT zestawienie cen płaconych przez odbiorców energii elektrycznej w krajach stawiających na OZE (Niemcy i Dania, 30 eurocentów/kWh) lub na energię jądrową (Finlandia 15,5 eurocentów/kWh, Francja 17 eurocentów/kWh)³⁵.

Jaki będzie nasz wybór?

A co o polityce Energiewende sądzą eksperci energetyczni: oto stwierdzenie Fritza Vahrenholta, który był senatorem ds. środowiska w Hamburgu, opracował pierwsze wiatraki wielkiej mocy i stworzył firmę

produkcji wiatraków Repower Systems w Hamburgu – obecnie firma Servion – a dziś jest dyrektorem fundacji German Wildlife Foundation:

„W zakresie polityki energetycznej uzgodnienia koalicji są świadectwem głupoty. W latach 2019-2020 rozwój energetyki wiatrowej w Niemczech ma być przyspieszony, chociaż nikt nie wie co robić z energią wiatrową, gdy wiatr wieje. A gdy wiatru brak, rozbudowa wiatraków nie pomaga, bo produkcja energii elektrycznej z wiatru i tak pozostaje bliska zeru. Przypomina to niemiecką bajkę o mieszczanach z Schilda, którzy wnosili worki ze światłem do miejskiego ratusza pozbawionego okien³⁶.

Rozwiązaniem problemu niestabilności OZE byłoby wprowadzenie magazynowania energii elektrycznej na wielką skalę. Ale jest to droga tak bardzo kosztowna, że wielkie firmy energetyczne nawet jej nie próbują realizować. W 2017 r. łączna moc magazynów w bateriach w Niemczech wynosiła tylko 230 MW. W 2018 r. zaplanowano dwie dalsze instalacje – układ litowo-jonowy o mocy 7,5 MW i pojemności 2,5 MWh oraz układ sodowo-siarkowy o mocy 4 MW i pojemności 20 MWh, których koszty finansowane są w dużej mierze z wkładu japońskiego w wysokości 25 mln euro <http://renews.biz/110266/ewe-plugs-into-german-storage/>. W stosunku do potrzeb – mierzonych w setkach gigawatogodzin – są to inwestycje bez znaczenia gospodarczego, prowadzone głównie dla celów propagandowych.

Dla Polski dobrym przykładem do naśladowania może być sytuacja w Czechach. Po skasowaniu wszelkiego wsparcia dla OZE, co było skutkiem nadmiernie wysokich subsydiów dla energii słonecznej w latach 2010-2011, rozwój OZE w Czechach ustał. W 2017 r. udział OZE w wytwarzaniu energii elektrycznej wynosił tylko 11%³⁷. Od 2013 r. tylko jedna nowa inwestycja w energetykę wiatrową została zrealizowana, mianowicie farma wiatrowa o mocy nominalnej 26 MW (rzeczywista moc średnia jest 4-5 razy mniejsza). Inwestycja ta należy do grupy kilku projektów, które uzyskały wsparcie jeszcze przed 2013 r. Stowarzyszenie energetyki wiatrowej w Czechach DUHA przyznaje, że dynamiczny rozwój farm wiatrowych na świecie spowodowany jest głównie subsydiami płaconymi przez społeczeństwo na mocy decyzji rządowych. DUHA stwierdza, że bez tych subsydiów farmy wiatrowe byłyby nieopłacalne, ale w jaskrawej sprzeczności z podawanymi powyżej faktami DUHA twierdzi, że rząd czeski powinien powrócić na drogę subsydiowania energetyki odnawialnej i „umożliwienia wszystkim obywatelom czerpania zysków z tej polityki”³⁸.

Przy okazji warto zwrócić uwagę na kompletny brak logiki aktywistów OZE: Ich zdaniem, obywatele mają płacić subsydia dla grupy deweloperów, by zapewnić im zyski z małych farm wiatrowych. Skoro bez tych subsydiów farmy te są nieopłacalne, to jak mają „wszyscy obywatele” czerpać zyski z ich istnienia?

³² <http://www.agora-energiewende.de/de/themen/-agothem-/Produkt/produkt/122/Die+Entwicklung+der+EEG-Kosten+bis+2035/>

³³ http://www.finanznachrichten.de/nachrichten-2016-04/37236239-energiewende-kostet-2016-laut-iw-rund-31-milliarden-euro-003.htm?fb_action_ids=1568482003451474&fb_action_types=og.recommends

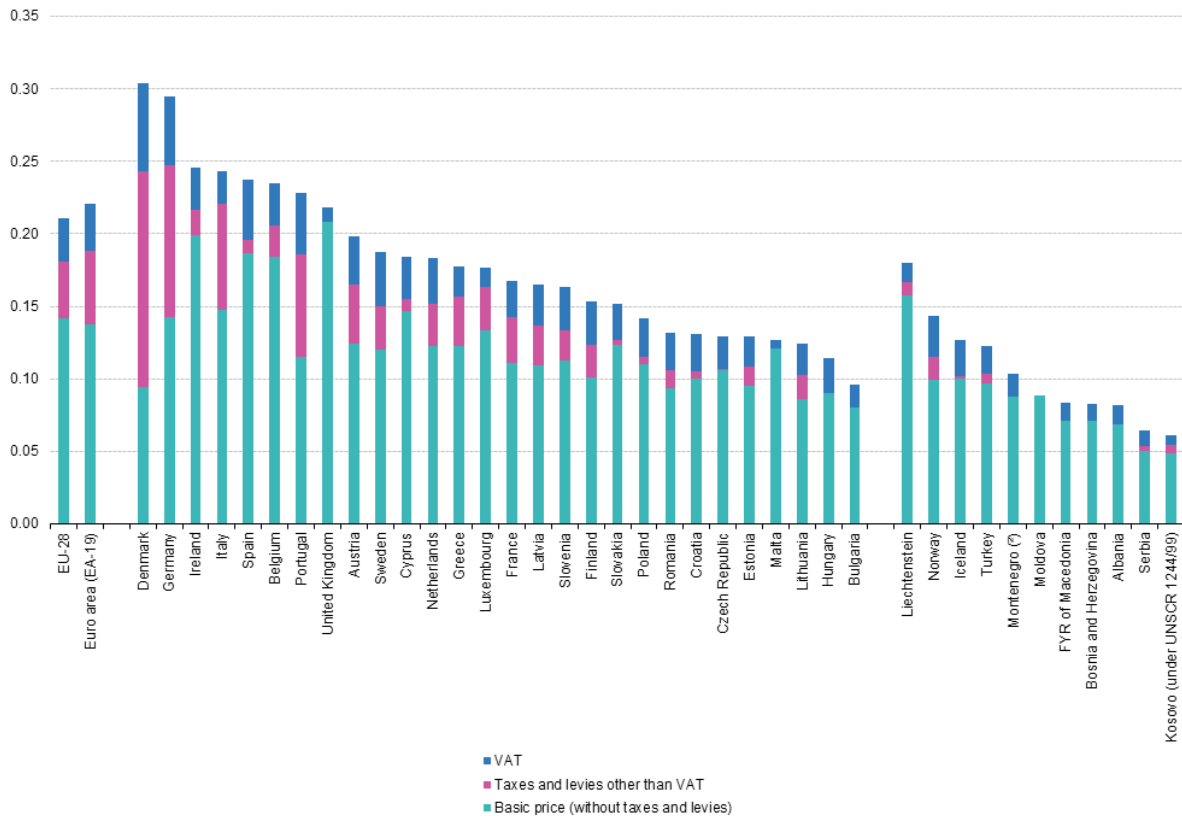
³⁴ Megan Darby German CO2 Emissions Keep Rising Climate Home, 14 March 2016

³⁵ [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Electricity_prices_for_household_consumers,_second_half_2015_\(%C2%B9\)_\(EUR_per_kWh\)_YB16.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Electricity_prices_for_household_consumers,_second_half_2015_(%C2%B9)_(EUR_per_kWh)_YB16.png)

³⁶ Fritz Vahrenholt: German Opposition To Wind Farms Is Growing Die Welt, 12 March 2018

³⁷ <https://www.peoplesbudget.eu/year-2018-time-to-make-change-happen-for-renewable-energy-projects/>

³⁸ tamże



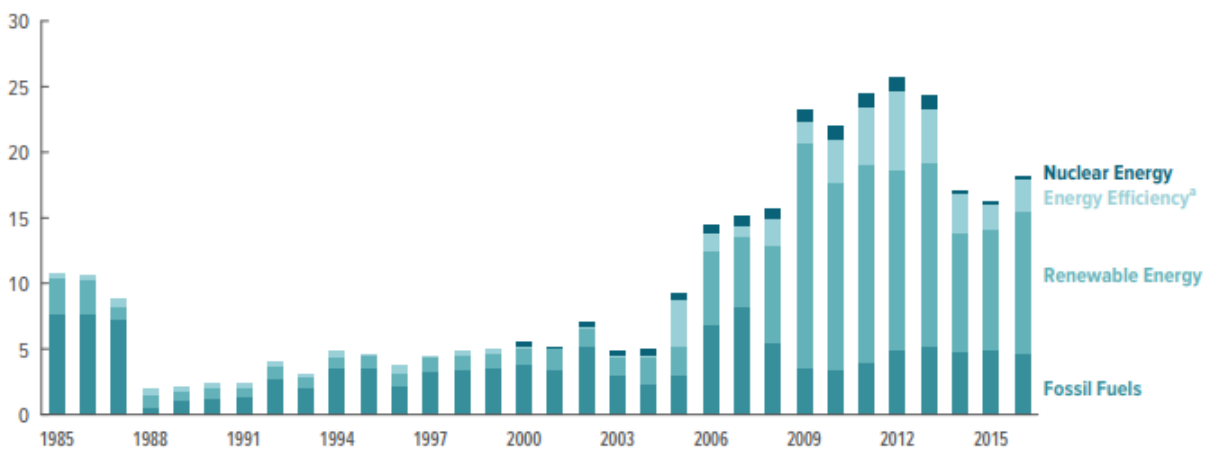
(*) Annual consumption: 2 500 kWh < consumption < 5 000 kWh.

(*) Taxes and levies other than VAT are slightly negative and therefore the overall price is marginally lower than that shown by the bar.

Rys. 3. Ceny za energię elektryczną płacone przez odbiorców indywidualnych w 2015 r. w krajach Unii Europejskiej [zaczepnięte z Eurostatu]
Fig. 3. Electricity prices paid by individual users in 2015 in European Union countries [Eurostat data]

Costs of Energy-Related Tax Preferences, by Type of Fuel or Technology, 1985 to 2016

Billions of 2016 Dollars



Rys. 4. Koszty ulg podatkowych otrzymywanych w USA przez różne źródła energii³⁹

Fig. 4. Costs of Energy-related tax preferences, by type of fuel or technology

³⁹ https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d4/Cost_of_Energy-Related_Tax_Preferences%2C_by_Type_of_Fuel_or_Technology%2C_1985_to_2016.png

Takie sprzeczności w wypowiedziach propagandzistów OZE są często spotykane. OZE przedstawiane są czytelnikom jako darmowe źródła energii, a prawdę o potrzebie subsydiów można przeczytać tylko wtedy, gdy przedstawiciele OZE apelują do parlamentów i rządów o przyznanie im pieniędzy.

W Stanach Zjednoczonych według najnowszego raportu US EIA z kwietnia 2018 r., subsydia na OZE wyniosły w 2016 r. 6,682 mln USD, w tym na bezpośrednie wydatki 909, ulgi podatkowe 5316, badania i doskonalenie 456 mln USD. Natomiast na energetykę jądrową suma subsydiów wyniosła w 2016 r. 805 mln USD, w tym na bezpośrednie wydatki 40, ulgi podatkowe 160 i badania i doskonalenie 164 mln USD. Przeliczając to na jednostkę produkowanej (w 2017 r.) energii elektrycznej, widzimy że dla OZE subsydia były 20-krotnie większe i wyniosły 9,7 USD/MWh, podczas gdy dla

energetyki jądrowej tylko 0,45 USD/MWh. Podobnie było w poprzednich latach — w 2013 r. OZE otrzymały 15 264 mln USD a energia jądrowa 13 890, natomiast w 2010 r. OZE otrzymały 15 785 mln USD a energia jądrowa 1 537 mln USD. Podobne proporcje występowały już dawniej, np. w 1997 r.

Efektowne tytuły prasowe o korzyściach, jakie mają przynieść wiatraki i panele słoneczne, można traktować jako wyraz wiary w przyszłość lub jako efekt pomijania rzeczywistych kosztów, ale oceny biura Kongresu USA pokazują, jaka jest prawda.

Podobne wyniki daje bezstronne przyjrzenie się obiektywnym danym ekonomicznym z Niemiec.

*dr inż. Andrzej Strupczewski, prof. NCBJ,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk*

NucNet – Wiadomości w skrócie, 18.10.2018, Nr 207

W antyjądrowych Niemczech ekolodzy przygotowują się do marszu projądrowego

18 października br. (NucNet): Ekolodzy i grupy społeczeństwa obywatelskiego wezmą udział w niedzielę w marszu w Monachium, aby domagać się wstrzymania zamykania elektrowni jądrowych, przez co, jak mówią, zwiększa się zależność od paliw kopalnych i zanieczyszczenie powietrza.

Organizatorzy z kilkunastu środowiskowych grup ekologicznych spodziewają się, że setki pro-jądrowych „atomowych humanistów” przyjedzie 21 października z całej Europy na niedzielne „Święto Dumy Jądrowej” (Nuclear Pride Fest) na Marienplatz’u w Monachium w godzinach od 10 do 16.

Ekolodzy domagają się, aby światowi przywódcy utrzymali pracę zbudowanych elektrowni jądrowych i budowali nowe. Będzie to niezbędne, aby zaspokoić rosnące zapotrzebowanie na energię, jednocześnie realizując „priorytetowe zadanie” ochrony zdrowia i środowiska, a także łagodzenia zmian klimatycznych.

Pilność tego zadania została podkreślona w niedawno wydanym raporcie Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu ONZ, w którym ostrzegano, że istnieje tylko kilkanaście lat, aby globalne ocieplenie utrzymać na maksymalnym poziomie do 1,5°C, powyżej którego nawet pół stopnia znacząco pogorszy ryzyko suszy, powodzi, ekstremalnych upałów i ubóstwa setek milionów ludzi.

Scenariusze przedstawione w raporcie wzywają do sześciokrotnego zwiększenia mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych.

Organizatorzy marszu wskazują, że za każdym razem, gdy elektrownie jądrowe są zamykane to zastępowane są głównie paliwami kopalnymi, ponieważ energia słoneczna i wiatrowa nie są wiarygodne. Mówią oni, że w Święto Dumy Jądrowej ekolodzy po raz pierwszy gromadzą się na rzecz energetyki jądrowej. Ich celem jest zarówno nakłanianie do kontynuowania pracy elektrowni jądrowych, jak i konfrontacja z tym, jak mówią, jest ich nieracjonalnym stygmatyzowaniem.

Niemcy zamykają swoje komercyjny bloki jądrowe, ale organizatorzy niedzielnego marszu twierdzą, że prowadzi to do ogromnych szkód środowiskowych, w tym zniszczenia starożytnego lasu by wydobywać węgiel i zwiększenia zanieczyszczenia środowiska podczas jego spalania węgla.

Stwierdzają oni, że mimo że wydano 580 mld dolarów na odnawialne źródła energii, takie jak energia słoneczna i wiatrowa, emisja w Niemczech pozostała na niezmiennym poziomie od 2009 r., dzięki rezygnacji z energetyki jądrowej, która nie powoduje emisji gazów cieplarnianych. Zauważają, że Francja, która eksploatuje 58 komercyjnych bloków jądrowych, produkuje dwa razy więcej energii z czystych źródeł niż Niemcy, a konsumenci płacą o połowę mniej za energię elektryczną.

*Na podstawie materiału opublikowanego przez NucNet tłumaczył Andrzej Mikulski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa*

REAKTOR DWUPŁYNOWY JAKO NOWA I REWOLUCYJNA KONCEPCJA REAKTORA JĄDROWEGO

Dual Fluid Reactor as a new and revolutionary concept of a nuclear reactor

Mariusz P. Dąbrowski

Streszczenie: Energetyka jądrowa pomimo swojego znakomitego potencjału dla wytwarzania niezwykle taniej energii elektrycznej, wciąż nie pokonuje innych źródeł w tym aspekcie w jednoznaczny i spektakularny sposób. Problemem są coraz większe wymagania w zakresie bezpieczeństwa, a także oparcie o technologie, których geneza sięga zastosowań militarnych (np. reaktor wodno-ciśnieniowy), i dla których ekonomia nie była priorytetem. Proponowane przez Międzynarodowe Forum Reaktorów IV Generacji (Generation IV International Forum) rozwiązania, chociaż uważane za bezpieczne, wciąż nie wydają się być satysfakcjonującymi pod względem ekonomicznym. Dlatego poszukuje się nowych koncepcji, które mogłyby doprowadzić do spektakularnego przełomu w tej dziedzinie. Taką propozycją jest reaktor dwupłynowy (RD; ang. Dual Fluid Reactor – DFR) opatentowany przez międzynarodową grupę naukowców z prywatnego instytutu badawczego Institute für Festkörper-Kernphysik (IFK) z Berlina. Jest to reaktor z dwoma niezależnymi obiegami: paliwa jądrowego (stopione sole lub ciekły metal) i chłodziwa (ciekły ołów) oddzielonymi poprzez rurki wykonane z węgla krzemu (SiC), co pozwala na wyjątkową optymalizację jego pracy. W artykule przedstawione są podstawowe cechy tego reaktora jako prędkiego reaktora wysokotemperaturowego (1000°C), samowylączającego się (ujemny współczynnik temperaturowy reaktywności) i niezwykle ekonomicznego. Wyliczony dla tego reaktora Współczynnik Zwrotu Zainwestowanej Energii (WZZE) przewyższa ponad dwudziestokrotnie ten współczynnik dla obecnie pracujących reaktorów II i III generacji i potencjalnie sugeruje, iż ta technologia może okazać się tak przełomową, jak technologia maszyny parowej Jamesa Watta pod koniec XVIII wieku, która doprowadziła do pierwszej rewolucji przemysłowej.

Abstract: Despite its extraordinary potential for producing very cheap energy, the nuclear power still does not defeat in this aspect the other sources in a clear and a spectacular way. The issue is more and more intensive requirements of safety as well as the usage of technologies which are rooted in military applications (e.g. pressurized water reactor) and so the ones for which economy was not the priority. The Generation IV International Forum proposals, in spite of being considered safe, still do not seem to be satisfactory in their economical aspects. This is why one is looking for the new concepts which could lead to a spectacular breakthrough in this field. Such a proposal is the Dual Fluid Reactor (DFR) patented by an international group of scientists from the private research Institute für Festkörper-Kernphysik (IFK) in Berlin. It is a reactor with two independent fluid flows: of the fuel (molten salts or liquid metal), and of the coolant (liquid lead), separated by pipes made of silicon carbide SiC, which allows for extraordinary optimization of its operation. In the paper, the basic features of the reactor as a high-temperature fast reactor (1000°C), with negative temperature coefficient of reactivity, and very economical, are presented. The Energy Return on Invested (EROI) factor calculated for this reactor is more than twenty times larger than that calculated for the II and III generation units, and potentially suggests that this technology can be proven to be as breakthrough as the James' Watt technology of steam engine of the end of 18th century which led to the first industrial revolution.

Słowa kluczowe: technologie reaktorowe IV generacji; Reaktor dwupłynowy: stopione sole, stopione metale, eutektyki, płynny ołów; Pirochemiczna Jednostka Przetwarzająca; Współczynnik Zwrotu Zainwestowanej Energii

Keywords: IVth generation reactor technologies; Dual Fluid Reactor: molten salts, liquid metals, eutectics, liquid lead; Pirochemical Processing Unit; Energy Return on Invested

Energetyka jądrowa – zrównoważony rozwój, stagnacja, czy przełom?

Militarne źródła powstania cywilnego sektora energetyki jądrowej mają swoje długofalowe konsekwencje, które przede wszystkim objawiają się tym, iż pomimo oczywistego jej potencjału do produkcji energii elektrycznej zdecydowanie tańszej wobec innych źródeł *nie* jest ona postrzegana przez inwestorów biznesowych

jako jednoznacznie bezkonkurencyjna. Pod pojęciem „oczywistego potencjału” rozumie się fakt, iż produkcja energii w przeliczeniu na pojedynczą cząstkę z oddziaływania jądrowego jest ok. sto milionów razy większa niż z reakcji chemicznych (czyli spalania paliw konwencjonalnych), a te z kolei produkują milion razy więcej energii na jedną cząstkę niż elektrownie wykorzystujące oddziaływanie grawitacyjne (np. spadanie wody, wiatr) [1]. Z kolei nieliczne w stosunku do innych form

wytwarzania energii, ale bardzo spektakularne awarie elektrowni jądrowych (Three Mile Island, Czarnobyl, Fukushima), pod wpływem presji społecznej zwiększyły wymagania stawiane przez regulatorów przy budowie nowych jednostek co automatycznie doprowadziło do wyższych kosztów ich budowy i utrzymania. W związku z tym przemysł jądrowy boryka się z określonymi trudnościami ekonomicznymi, co przy dodatkowym wsparciu przez liczne rządy państw dla energetyki odnawialnej stawia go w trudniejszym położeniu niż w początkowej fazie jego rozwoju. Chociaż wiele mówi się o koncepcji zrównoważonego rozwoju sektora energetycznego, co oznacza, iż energetyka powinna opierać się na miksie wielu różnych źródeł, a zatem też jądrowych, to realnie rzecz biorąc nie widać nowych pomysłów w zakresie technologii, które mogłyby zdecydowanie i jednoznacznie zwiększyć wydajność elektrowni jądrowych wobec innych źródeł energii. Niestety, analizując zestaw nowych koncepcji reaktorów jądrowych wymienianych przez Międzynarodowe Forum Reaktorów IV Generacji (GIF – Generation IV International Forum) łatwo zauważamy, że ich prawdziwe korzenie sięgają albo bezpośrednio czasów projektu Manhattan, albo czasów wczesnego okresu zimnej wojny, a więc poszukiwania zastosowań militarnych. Przykładem jest tu koncepcja reaktora wysokotemperaturowego ze złożem usypanym (ang. pebble bed), która pochodzi o Farringtona Daniela i powstała już w 1944 r. [2]. Podobnie koncepcja reaktora na stopionych solach (ang. molten salt reactor) pojawiła się pod koniec lat 40-tych przy okazji pomysłu stworzenia samolotów o napędzie jądrowym [3]. Wydaje się zatem, iż potrzebne są nowe i bardziej przełomowe idee, które pozwoliłyby na skok jakościowy w zakresie przede wszystkim ekonomii produkcji energii z reakcji jądrowych a także, co nie mniej ważne, w zakresie bezpieczeństwa oraz minimalizacji ilości odpadów radioaktywnych. Jedną z takich prób, która wydaje się postulować pewną świeżą logikę w zakresie przede wszystkim ekonomii produkcji energii, a także bezpieczeństwa oraz utylizacji odpadów jest koncepcja Reaktora dwupłynowego znana pod angielskojęzyczną nazwą Dual Fluid Reactor [4].

Reaktor dwupłynowy – Dual Fluid Reactor (DFR): patenty

Na przełomie ostatniego dziesięciolecia (lata 2008-2013) międzynarodowa grupa naukowców skupiona przy prywatnym Instytucie Badawczym IFK – Institute für Festkörper-Kernphysik w Berlinie – prowadzona przez prof. Konrada Czerskiego, opracowała nową koncepcję reaktora jądrowego. Samo opracowanie koncepcji być może nie byłoby czymś nadzwyczajnym, gdyby nie fakt, że ta koncepcja została do dnia dzisiejszego opatentowana lub zgłoszona do opatentowania w co najmniej 40 krajach świata, w tym w Unii Europejskiej, Stanach Zjednoczonych Ameryki, Kanadzie, Indiach, Japonii, Korei Południowej oraz Rosji. Wynalazcy zrobili

to wyłącznie ze środków własnych i do tej pory oprócz patentu na reaktor jądrowy w wersji solnej i metalicznej posiadają też patenty na 3-wymiarową drukarkę dla tworzenia trudno topliwych ceramiek z węgla krzemu (SiC), węgla cyrkonu (ZrC), węgla tytanu (TiC) oraz na Pirochemiczną Jednostkę Przetwarzającą (PJP; ang. Pyrochemical Processing Unit – PPU).

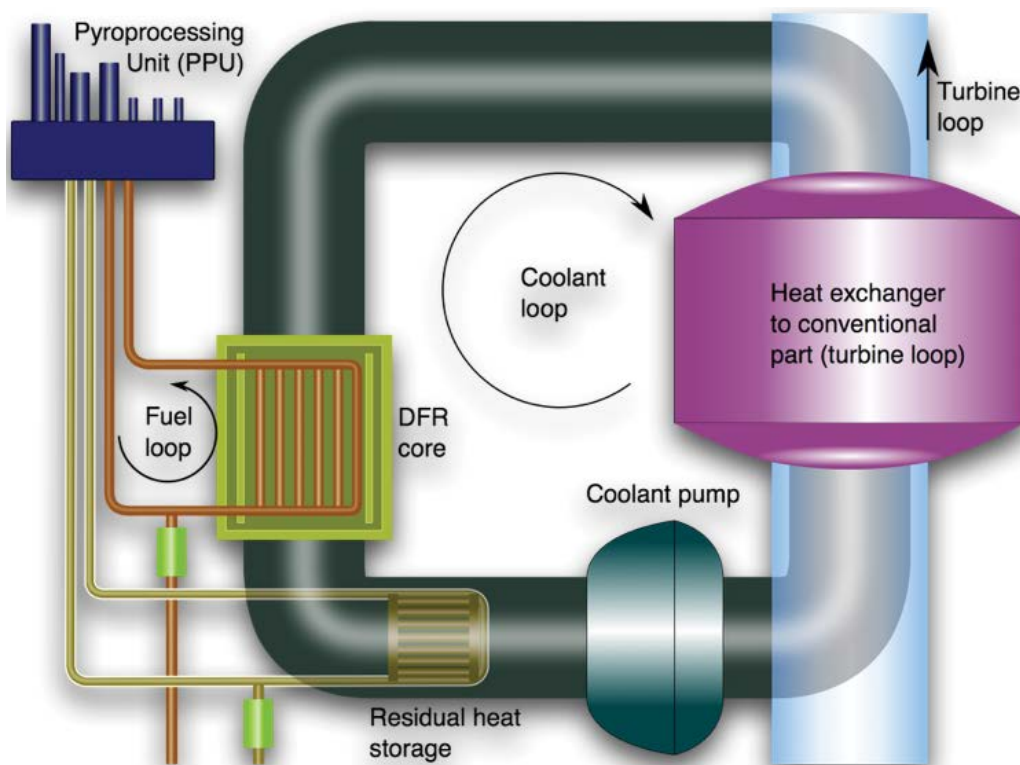
Reaktor dwupłynowy: podstawowe idee

Reaktor dwupłynowy jest nowatorską koncepcją reaktora jądrowego pracującego w bardzo wysokich temperaturach powyżej 1000°C w oparciu o widmo prędkich neutronów [5]. Jego nazwa wzięła się stąd, że istnieją w tym reaktorze dwa oddzielone od siebie obiegi różnych płynów – paliwa i chłodziwa. Ta koncepcja najbardziej przypomina znaną już konfigurację reaktora IV generacji na stopionych solach – Molten Salt Reactor (MSR) – przy czym w odróżnieniu od tej znanej już z lat 40-tych ubiegłego stulecia koncepcji zastosowane są różne płyny oddzielone rurami paliwowymi z żaroodpornego materiału takiego jak np. węgiel krzemu. To pozwala na optymalizację parametrów roboczych paliwa i chłodziwa w sposób niezależny i prowadzi do wyjątkowo wysokiej wydajności tego reaktora o czym napiszę dalej.

Podstawowymi charakterystykami reaktora dwupłynowego są: praca na neutronach prędkich (jest to zatem reaktor prędkiej), wysoka temperatura pracy nawet do 1300°C, heterogeniczność (niejednorodność) rdzenia, powielanie paliwa (pluton-239 powstający z uranu-238 lub uran-233 powstający z toru-232), wypalanie odpadów radioaktywnych z innych reaktorów oraz możliwość stałego oddzielania aktywności i innych produktów rozszczepienia w specjalnej Pirochemicznej Jednostce Przetwarzającej. Reaktor dwupłynowy charakteryzuje się bardzo wysoką gęstością mocy oraz podobnie jak MSR pracuje przy ciśnieniu atmosferycznym.

Podstawowy schemat reaktora dwupłynowego przedstawiony jest na rys. 1. Na schemacie widać rdzeń reaktora z pionowymi rurkami wykonanymi z węgla krzemu przez które porusza się z dołu do góry płynne paliwo. Paliwo jest potem kierowane do Pirochemicznej Jednostki Przetwarzającej, aby następnie powrócić do rdzenia. Pomiędzy rurkami z węgla krzemu przepływa chłodziwo także z dołu do góry. Po podgrzaniu w reaktorze chłodziwo przemieszcza się do wymiennika ciepła, w którym produkowana jest wysokotemperaturowa para mogąca być użyta zarówno do wytwarzania energii elektrycznej, jak również wykorzystana w procesach chemicznych. Pod zbiornikiem reaktora znajdują się dwa specjalnie chłodzone „bezpieczniki” („fuses”), które w przypadku przekroczenia granicznej temperatury samoczynnie topią się i pozwalają na natychmiastowe spłynięcie paliwa do umieszczonych pod rdzeniem zbiorników podkrytycznych, gdzie może być odebrane ciepło powylążeńiowe.

Materiały



Rys. 1. Podstawowy schemat reaktora dwupłynowego z dwoma obiegami: paliwa (stopione sole lub ciekły uran) i chłodziwa (ciekły ołów). Po lewej stronie u góry Pirochemiczna Jednostka Przetwarzająca (PPU). Źródło: strona internetowa IFK dual-fluid.reactor.org.

Fig. 1. The scheme of the Dual Fluid Reactor with two flows: fuel (molten salts or liquid uranium) and coolant (liquid lead). Upper left: Pyrochemical Processing Unit (PPU). Source: webpage of IFK dual-fluid.reactor.org.

Ponieważ reaktor dwupłynowy działa w temperaturze powyżej 1000°C , to jego konstrukcja wymaga odpornych na wysokie temperatury materiałów w postaci stopów metali lub materiałów ceramicznych. Takie materiały są dostępne zarówno w przemyśle jądrowym jak też poza nim. W koncepcji reaktora dwupłynowego rurki, przez które przepływa paliwo o wysokiej temperaturze mają być wykonane z węgla krzemu (SiC). Ten materiał został przetestowany zarówno od strony wytrzymałości mechanicznej jak też wytrzymałości na korozję i silne promieniowanie do temperatury ok. 1600°C . Na rynku dostępne są powszechnie różne części maszyn wykonane z tego materiału. Węgiel krzemu ma także zastosowanie do produkcji paliwa TRISO dla reaktorów wysokotemperaturowych chłodzonych gazem (HTGR) [7]. Najbardziej odpowiednimi elementami wykonanymi z węgla krzemu są rurki o długości ok. 1,0 m, które w jednej z konfiguracji reaktora (DFRm) posiadają wystarczającą długość do konstrukcji rdzenia. Rurki te są produkowane przez General Atomics (GA) jako kompozyty SIGA [8].

Paliwo i chłodziwo

Jeśli chodzi o obiegi paliwa i chłodziwa, to proponowane są jak do tej pory dwie wersje reaktora: tzw. DFRs oraz DFRm. Pierwsza z nich, tak jak w przypad-

ku niektórych wersji reaktora na stopionych solach MSR, używać ma jako paliwa chlorków uranu, toru lub plutonu. Druga ma jako paliwo używać stopionego metalu – tzw. eutektyka, czyli mieszaniny dwóch metali (np. uranu i chromu), która przy odpowiedniej proporcji składników ma o wiele niższą temperaturę topnienia niż każdy z tych metali oddzielnie [6]. Jako chłodziwo ma być używany ciekły ołów. W tym aspekcie reaktor dwupłynowy może być uważany jako rozszerzenie koncepcji innego reaktora IV generacji – reaktora prędkiego chłodzonego ołowiem (Lead-cooled Fast Reactor – LFR), a nawet bardziej ogólnie jako rozszerzenie koncepcji reaktorów chłodzonych ciekłymi metalami (np. też chłodzonego ciekłym sodem – Sodium Fast Reactor (SFR)). Ołów ma stosunkowo niską temperaturę topnienia 327°C , a paruje dopiero w temperaturze 1749°C . Ma mały przekrój czynny na wychwyt neutronów prędkich i jednocześnie jest dobrym ich reflektorem. Poza tym praktycznie każdy wzbudzony izotop powstały w wyniku oddziaływania neutronów z ołowiem natychmiast rozpada się na stabilny izotop ołowiu. W końcu ołów charakteryzuje się wysokim współczynnikiem przewodnictwa cieplnego oraz ujemnym współczynnikiem temperaturowym gęstości, co oznacza iż jego gęstość maleje wraz ze wzrostem temperatury. Dlatego też odbiór ciepła może być dodatkowo regulowany przez zwiększanie lub zmniejszanie prędkości przepływu ołowiu, co pozwala także na sterowanie reaktora, do czego wrócimy później. Ponieważ

obieg chłodzący pracuje w wysokiej temperaturze, to nie jest konieczne zastosowanie eutektyki innego metalu z ołowiem jak przy innych koncepcjach reaktorów chłodzonych metalami – ołów w obiegu chłodzącym będzie bowiem pracował powyżej jego temperatury topnienia.

Pirochemiczna Jednostka Przetwarzająca (PPU)

Jednym z istotnych elementów reaktora dwupłynowego, który wzbudza zainteresowanie nawet rządów odchodzących od energetyki jądrowej (np. Niemcy) jest PPU. Jej głównym zadaniem jest atomowa separacja składników użytego paliwa i usuwanie produktów rozpadu jądrowego, co dokonuje się za pomocą wielokrotnej destylacji. Przede wszystkim należy wspomnieć, iż dzięki PPU istnieje możliwość wprowadzenia do obiegu paliwowego, oprócz standardowego paliwa w postaci roztopionego uranu lub toru, także paliwa pozostałe z nie do końca wypalonych elementów paliwowych z reaktorów II i III generacji, a także inne odpady radioaktywne. Z drugiej strony przez odpowiednią destylację chemiczną można wydobyć dzięki PPU różne produkty rozszczepienia, materiał rozszczepialny, a także całkiem sporą ilość radioizotopów do zastosowań medycznych (w tym znacznie przekraczającą obecną ilość światowej produkcji molibdenu-99 podlegającego przemianie na technet-99m).

Możliwe inne zastosowania reaktora dwupłynowego

Wysoka temperatura pracy reaktora, a tym samym wysoka temperatura produkowanej pary rzędu 1000°C, pozwala na wielorakie zastosowania. Przede wszystkim przy wysokiej temperaturze wzrasta sprawność wytwarzania energii elektrycznej, a ciepło odpadowe z takiego procesu o temperaturze ok. 250°C może być dalej wykorzystane np. do odsalania wody morskiej, co jest dodatkową korzyścią ekonomiczną. Ponadto ciepło procesowe o wysokiej temperaturze może być wykorzystane w petrochemii do wytwarzania produktów petrochemicznych. Kolejnym i szeroko pożądanym zastosowaniem może być produkcja wodoru (przy wykorzystaniu wody lub metanu), a w dalszej kolejności produkcja taniego paliwa – np. hydrazyny – do zastosowań w przemyśle lotniczym i motoryzacyjnym, także jako ogniwo paliwowych.

Reaktor dwupłynowy - bezpieczeństwo

Najważniejszą cechą bezpieczeństwa reaktora dwupłynowego jest jego duży ujemny współczynnik temperaturowy, co oznacza, iż reaktywność natychmiast maleje w przypadku nawet niewielkiego wzrostu temperatury (na przykład dla jednej z konfiguracji DFRs efektywny współczynnik mnożenia neutronów k spełnia relację $dk/dT = -0,0005/K$). Zatem mamy tu do czynienia z natychmiastową samoczynną (pasywną) reakcją reaktora na wzrost temperatury i w ten sposób regulacją pracy reaktora. Reaktor wykazuje poza tym wiele istot-

nych pasywnych odpowiedzi na wzrost temperatury. Przede wszystkim reaktor posiada normalnie chłodzone, a przy wysokiej temperaturze podlegające stopieniu „bezpieczniki”, które pozwalają spuścić paliwo do zbiorników podkrytycznych znajdujących się pod reaktorem. Tam ciepło powyłaczeniowe jest odbierane za pomocą naturalnej konwekcji powietrza. Innymi elementami pasywnego bezpieczeństwa reaktora jest zmniejszanie się liczby aktywności wraz ze zmniejszaniem się gęstości masy paliwa, a także pogorszenie się własności chłodziwa (ołowiu) jako reflektora neutronów przy zmniejszaniu się gęstości masy chłodziwa. Należy także wymienić tzw. efekt Dopplera, czyli wzrost rezonansowego wychwytu neutronów przy wzroście temperatury.

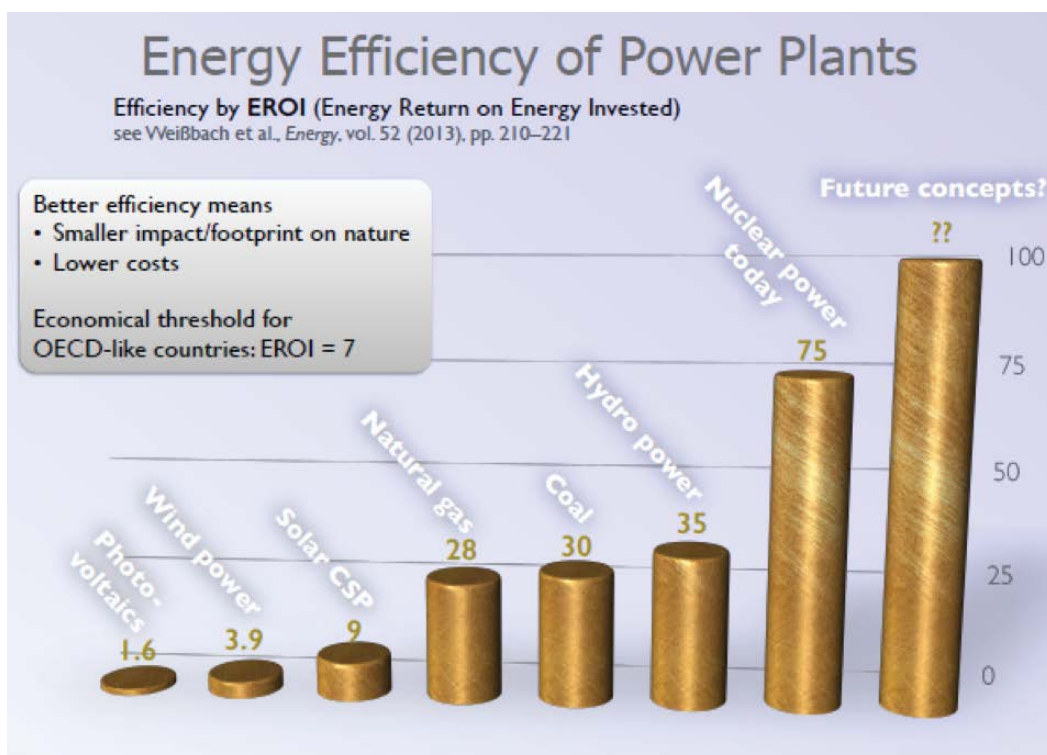
Uruchamianie i zatrzymywanie reaktora, wyłączenie awaryjne

Jedną z ważnych procedur, która jest zupełnie inna niż w reaktorach II i III generacji jest uruchamianie reaktora dwupłynowego do osiągnięcia stanu krytyczności. Aby tego dokonać należy przede wszystkim podgrzać paliwo i chłodziwo w celu osiągnięcia przez nie stanu ciekłego. Następnym krokiem jest wpompowanie paliwa ze znajdujących się pod reaktorem zbiorników podkrytycznych do rdzenia. Krytyczność w wersji DFRs jest osiągana, gdy stopione sole z paliwem osiągną temperaturę równowagi w rdzeniu (ok. 900°C). Wysoki ujemny współczynnik temperaturowy reaktywności nie pozwala na to, aby paliwo wychłodziło się poniżej punktu ześlawiania się, który jest rzędu 800°C.

Praca reaktora rozpoczyna się niewielką produkcją ciepła. Pompy cyrkulacyjne przyspieszają przepływ chłodziwa (stopionego ołowiu) i rozpoczyna się odbiór ciepła poprzez wymiennik ciepła, co powoduje zmniejszenie temperatury. Reaktor pracuje w stanie nadkrytycznym do czasu osiągnięcia nominalnej temperatury oraz nominalnego poboru mocy. Jeśli pompy cyrkulacyjne spowalniają przepływ chłodziwa to rośnie temperatura w reaktorze i staje się on podkrytyczny. Sterowanie reaktora odbywa się *za pomocą poboru mocy*. Aktywnie można to robić zmieniając prędkość pompowania chłodziwa, natomiast pasywnie za pomocą poboru energii elektrycznej poprzez turbinę generującą prąd.

Wyłączenie reaktora dwupłynowego także wygląda inaczej niż w reaktorach II i III generacji. Przede wszystkim wymagane jest zatrzymanie obiegu chłodziwa. Poprzez zatrzymanie chłodzenia bezpieczników pod rdzeniem następuje opróżnienie obiegu paliwa do zbiorników podkrytycznych. W przypadku dowolnej awarii zwiększającej temperaturę równowagi następuje automatyczne zatrzymanie chłodzenia bezpieczników i spuszczenie paliwa do zbiorników podkrytycznych. Co ciekawe, ta sama procedura jest stosowana dla zwykłego zatrzymania reaktora, jak też dla zatrzymania awaryjnego. Z powyższego wynika, iż *reaktor dwupłynowy nie potrzebuje zastosowania prętów kontrolnych i awaryjnych*.

EROI, czyli Współczynnik Wzrostu Zainwestowanej



Rys. 2. Porównanie efektywności energetycznej różnych źródeł energii na podstawie Współczynnika Zwrotu Zainwestowanej Energii (WZZE lub EROI). Wyliczony WZZE dla elektrowni jądrowych wynosi 75, a na przykład dla elektrowni węglowych tylko 30, ale są to porównywalne rzędy wielkości. Źródło: publikacja [9]

Fig. 2. Plot of energy efficiency for various sources of energy which uses Energy Return on Invested (EROI) ratio. EROI for nuclear plants is 75 while for example for coal plants it is only 30, but the orders of magnitude are still comparable. Source: reference [9]

Energii (WZZE)

Na cykl produkcyjny energii w obecnych elektrowniach jądrowych składa się wiele procesów takich jak: wydobycie uranu, jego konwersja i wzbogacanie, produkcja elementów paliwowych, utrzymanie elektrowni w ruchu, konstrukcja i likwidacja elektrowni, składowanie odpadów radioaktywnych itp. Stosowany otwarty cykl paliwowy jest kosztowny a do tego tylko 1% paliwa jądrowego z prętów paliwowych podlega wypaleniu pozostawiając 99% niezużytego paliwa do wieloletniego przechowania w składowiskach odpadów. Innym problemem jest mała gęstość mocy reaktorów, co prowadzi do konieczności zużycia dużej ilości drogich materiałów do konstrukcji rdzenia reaktora oraz na zabezpieczenia ze względu na jego duże rozmiary.

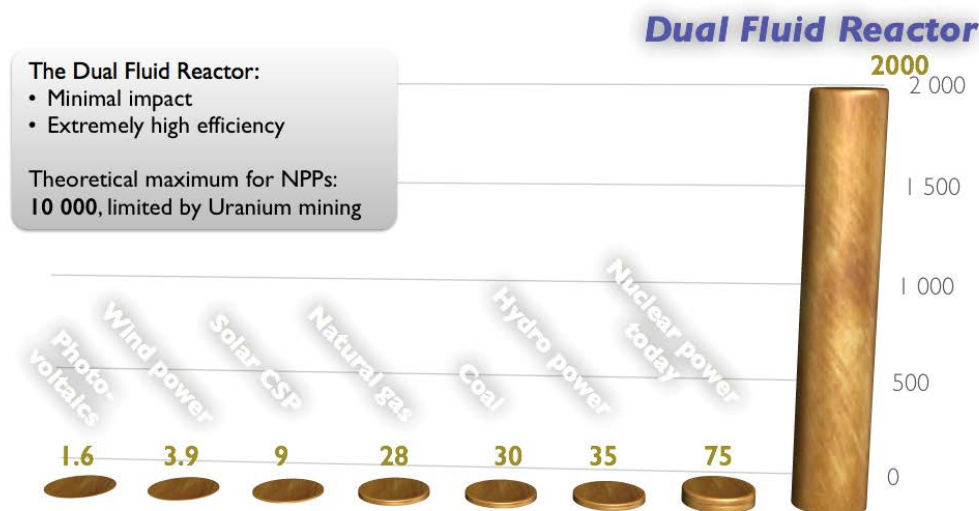
W pracy D. Weissbacha i innych [9] grupa wynalazców reaktora dwupłynowego poddała tę koncepcję porównawczej analizie wydajności energetycznej opartej na tzw. Energy Return on Invested (EROI), czyli jak można przetłumaczyć na język polski na Współczynniku Zwrotu Zainwestowanej Energii (WZZE). Ten współczynnik jest definiowany jako stosunek całkowitej energii wyprodukowanej w trakcie całego życia elektrowni do całkowitej energii zużytej na budowę i utrzymanie elektrowni jądrowej włączając w to koszty pośrednie takie jak wydobycie i przetwarzanie paliwa (można te koszty całościowo określić też w przenośni jako „od kołyski do grobu” – „from the cradle to the grave”) tzn.

$$EROI = \frac{\text{całkowita energia uzyskana}}{\text{całkowita energia włożona}}$$

W tym momencie należy podkreślić, iż powyżej mamy do czynienia z obliczeniami w terminach energii, a nie w terminach kosztów wyrażonych w formie finansowej co jest definiowane nieco innym współczynnikiem, którego nie będziemy przytaczać ze względu na ograniczoną objętość artykułu. Zgodnie z wyliczeniami opartymi o dane z przemysłu energetycznego dla wielu rodzajów elektrowni, energetyka jądrowa charakteryzowana jest przez WZZE (EROI) na poziomie 75 (rys. 2) wyprzedzając znacznie energetykę opartą o paliwa kopalne (WZZE ok. 30), co jednak niekoniecznie może być satysfakcjonujące biorąc pod uwagę chociażby fakt wypalania tylko 1% paliwa jądrowego z prętów paliwowych. Zaskakujące jest jednak to, iż nowa koncepcja reaktora dwupłynowego w oparciu o te obliczenia może mieć WZZE rzędu 2000 lub więcej (rys. 3). Skąd bierze się tak wysoki współczynnik zwrotu? Po pierwsze, w przypadku DFR nie jest potrzebny cały skomplikowany proces wytwarzania paliwa, a w szczególności jego wzbogacanie – tu wyliczona wydajność zwiększa się z grubszą trzykrotnie. Poza tym większa gęstość energii w rdzeniu reaktora oraz pasywne cechy bezpieczeństwa pozwalają na znaczne zmniejszenie rozmiarów jednostki jądrowej i tym samym na zmniejszenie ilości materiałów potrzebnych do jej konstrukcji – to dalej zwiększa wydajność sześciokrotnie.

Efficiency by EROI (Energy Return on Energy Invested)

see Weißbach et al., *Energy*, vol. 52 (2013), pp. 210–221



Rys. 3. To samo co na rys.2, porównanie wydajności energetycznej różnych typów elektrowni względem elektrowni z reaktorem dwupłynowym (DFR). Widać kolosalny skok WZŻE – z wartości 75 dla obecnych reaktorów II i III generacji do wartości 2000 dla DFR. Źródło: publikacja [9]

Fig. 3. Same as in Fig. 2 for energy efficiency for various types of sources in comparison with Dual Fluid Reactor (DFR). One notices an extraordinary shift in EROI – from 75 for the current II and III generation plants to the value of 2000 for the DFR. Source: reference [9]

Do tego dochodzą mniejsze koszty utrzymania jednostki w ruchu, mniejsze zużycie paliwa jądrowego, mniejsze koszty składowania odpadów (jest ich tu znacznie mniej i są o wiele bardziej krótkożyłowe) oraz redukcja materiałów żaroodpornych (z 1000 ton dla reaktora lekkowodnego do ok. 100 ton). Należy wspomnieć, że przy wyliczaniu WZŻE dla reaktora dwupłynowego brane były pod uwagę koszty konstrukcji, koszty dostarczenia paliwa, koszty utrzymania elektrowni w ruchu oraz koszty jej rozbiórki zgodnie z obowiązującymi kanonami wyliczania kosztów energetyki jądrowej.

Można podać cztery podstawowe powody, które dają tak znaczny postęp w efektywności reaktora dwupłynowego. Przede wszystkim jest to technologia, której początki nie mają korzeni militarnych (produkcja bomby, napęd łodzi podwodnych), tak jak to ma się w przypadku chociażby reaktora wodnociśnieniowego PWR. Po drugie omija się problemy z którymi boryka się generacja III+, dla której wysoce redundantne bezpieczeństwo przeważa nad ekonomią i znacznie zwiększa koszty produkcji energii. Reaktor dwupłynowy posiada także wysoką gęstość energii w rdzeniu, co jest niemożliwe do zastosowania np. w reaktorach wysokotemperaturowych chłodzonych gazem (HTGR), gdzie mała gęstość energii potrzebna jest dla zapobieżenia stopieniu się rdzenia. Reasumując, DFR łączy w sobie dużą gęstość mocy z wysoką wydajnością ekonomiczną ponieważ jest to reaktor na prędkich neutronach – samopowielający, dopuszcza nawet 100% wypalenia, produkuje niewielką ilość odpadów (możliwość transmutacji) i w końcu może wykorzystywać jako paliwa już wypalone pręty z reaktorów II i III generacji.

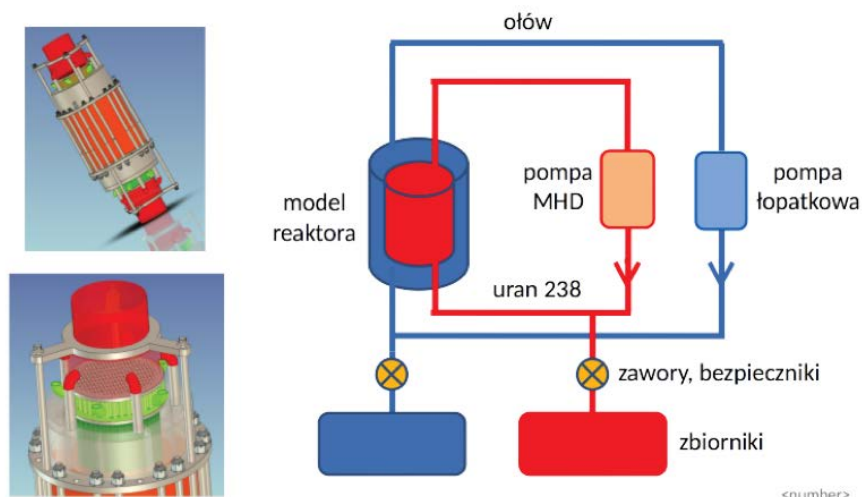
Dokonane przeliczenie wydajności energetycznej na finansowe koszty energii jądrowej z reaktora dwupłynowego

wego w pracy [9] kształtują się następująco: koszty inwestycji to 1 euro za 1 Wat mocy reaktora, koszt produkcji energii elektrycznej to 0,6 eurocenta za kilowatogodzinę. Do tego dochodzi na przykład możliwość produkcji tanich paliw alternatywnych dla ropy naftowej po cenie 0,3 eurocenta za litr.

Reaktor dwupłynowy a rewolucja przemysłowa Jamesa Watta

Zaskakująco wysoki WZŻE (EROI) dla reaktora dwupłynowego według wynalazców wynika z bardzo prostego pomysłu polegającego na rozdzieleniu przepływów (płynnego) paliwa i chłodziwa i wynikającej stąd możliwości niezależnej optymalizacji doboru parametrów tych substancji w celu jak najefektywniejszej pracy reaktora. Ten pomysł można porównać do pomysłu Jamesa Watta z 1765 r. polegający na oddzieleniu układu zbiornika kondensacyjnego i układu cylindra z tłokiem w maszynie parowej Newcomena z 1712 r. Ta ostatnia maszyna miała niezwykle niską sprawność rzędu 0,5-1,0% w związku z czym w praktyce była używana wyłącznie do wypompowywania wody zalewającej kopalnie węgla kamiennego. Nie była zatem konkurencją dla siły pociągowej konia czy też pracy mięśni człowieka, więc nie mogła zastąpić tej pracy z żadnym sektorem ówczesnej gospodarki. Watt był zatrudniony jako asystent na Uniwersytecie w Glasgow i zlecono mu „naprawienie” niewielkiego modelu maszyny Newcomena, która „zatrzymywała się” po kilku cyklach. Po zapoznaniu się z problemem zauważył, iż większość ciepła była w tym modelu zużywana na ogrzanie cylindra z tłokiem i przy małej generowanej energii użytecznej (tzw. egzergii), nie wystarczało jej na wykonanie większej ilości cykli. To skłoniło Watta do

Minidemonstrator bez materiałów promieniotwórczych



Rys. 4. Koncept zestawu eksperymentalnego (pętli dwupłynowej) tzw. minidemonstratora DFR składającego się z obiegu płynnego zubożonego uranu 238 (symulującego paliwo) oraz ołowiu (symulującego chłodziwo). Obieg jest wymuszany pompą magneto hydrodynamiczną (MHD) dla paliwa oraz zwykłą pompą łopatkową dla chłodziwa. Na dole widać bezpieczniki ulegające stopieniu podczas wyłączania lub w sytuacjach awaryjnych oraz zbiorniki podkrytyczne. Źródło: K. Czerski - materiały własne

Fig. 4. The concept of experimental unit (dual fluid loops) of the so-called mini-demonstrator DFR composed of flow for depleted uranium 238 (simulating fuel) and flow of lead (simulating coolant). The flow is forced by the magnetohydrodynamic (MHD) pump for the fuel and the ordinary vane pump for the coolant. At the bottom one can see the fuses which melt at shut-down or emergency situations and the subcritical tanks. Source: K. Czerski – private communication

oddzielenia układu kondensacyjnego od układu tłoka i doprowadziło do zwiększenia sprawności urządzenia do 4,0-5,0 %, co dalej poskutkowało zastosowaniem tej maszyny wszędzie tam, gdzie poprzednio była stosowana siła mięśni. Długofalową konsekwencją pomysłu J. Watta była tzw. „rewolucja przemysłowa”. Watt opatentował swój wynalazek w 1769 r. i natychmiast wszedł w partnerstwo przemysłowe z biznesmenem Matthew Boultonem. Mając patent i nową technologię, która nie była dostępna dla innych, uzyskali oni niezwykle profity dla siebie oraz pośrednio dla Wielkiej Brytanii jako kraju, w którym ta technologia pojawiła się po raz pierwszy. Był to tak wielki biznes, iż po wygaśnięciu 20-letniego okresu ochrony patentowej liczni inżynierowie (np. C.R. Trevithick) „oczekiwali w blokach startowych”, aby mogli jeszcze bardziej udoskonalić technologię J. Watta i czerpać kolosalne zyski [10]. W rozważanym przez nas przypadku reaktora dwupłynowego – jeśli oczywiście poprawne jest wyliczenie tak wielkiego Współczynnika Wzrostu Zainwestowanej Energii EROI – możemy się spodziewać kolejnej „rewolucji przemysłowej”; tym razem związanej z przemysłem jądrowym. Rozwiązanie to staje się możliwe ze względu na postęp w technologii obróbki materiałów ceramicznych (np. SiC).

Podsumowanie i perspektywy

Przedstawiona w artykule koncepcja reaktora dwupłynowego, która może być ze względu na istnienie pewnych technologii lub materiałów mogących zło-

żyć się na jego realizację uplasowana na poziomie TRL (Technology Readiness Level) rzędu 2-3 wydaje się być warta dalszych badań i testów laboratoryjnych. Jej zaskakujący potencjał przedstawiony powyżej roz-
tacza wizję kolejnej „rewolucji przemysłowej” tym razem w dziedzinie energetyki jądrowej, która mogłaby całkowicie zmienić oblicze jednej z najważniejszych gałęzi przemysłu, jaką jest energetyka. Oczywiście ta koncepcja pozostawia wiele wyzwań, przede wszystkim w obszarze eksperymentu oraz badań inżynierskich, konstrukcji wstępnych układów laboratoryjnych, reaktora badawczego i/lub demonstratora oraz w końcu prototypu [11, 12]. Jednym z czekających na realizację zestawów eksperymentalnych jest tzw. minidemonstrator DFR (rys. 4), składający się z dwóch pętli z realnym modelem rdzenia reaktora, który stworzą trzy rurki z węgliku krzemu SiC o długości 1 metra. W jednej z pętli ma płynąć ciekły i zubożony uran 238 i jego ruch będzie wymuszany za pomocą pompy magneto hydrodynamicznej MHD. W drugiej ma płynąć ciekły ołów i jego ruch ma być regulowany za pomocą pompy łopatkowej. Pod rdzeniem umieszczone będą bezpieczniki pozwalające na swobodne spuszczenie symulowanego paliwa do zbiorników podkrytycznych. Drugim zestawem eksperymentalnym mogącym służyć do testowania materiałów służących do konstrukcji reaktora dwupłynowego byłby specjalny piec korozyjny dopuszczający temperatury do 1600°C. Wobec powyższego DFR może być traktowany jako koncepcja wymagająca dalszych badań i testów, co zostało m.in.

zarekomendowane w przedstawionym 15 stycznia 2017 r. raporcie zespołu ds. analizy i przygotowania warunków do spraw wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych działającego na zlecenie Ministra Energii i związanego z wdrażaniem Programu Polskiej Energetyki Jądrowej [13].

prof. dr hab. Mariusz P. Dąbrowski
Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Świerk
Uniwersytet Szczeciński, Szczecin

Literatura:

- [1] E. Boeker, R. Grondelle, *Fizyka środowiska*, PWN Warszawa (2003).
- [2] F. Daniels, *Suggestions for a High-Temperature Pebble Pile*. MUC-FD-8; N-1668b, Chicago University Metallurgical Laboratory, Chicago Illinois (1944).
- [3] J. Serp i inni, *The molten-salt reactor (MSR) in generation IV: Overview and perspectives*, Prog. Nucl. Energy 77, 308 (2014).
- [4] www.dual-fluid-reactor.org
- [5] A. Huke, G. Ruprecht, D. Weissbach, S. Gottlieb, A. Hussein, K. Czerski, Ann. Nucl. Energy 80, 225 (2015).
- [6] D.A. Porter, K.E. Easterling, M.Y. Sherif, *Phase Transformations in Metals and Alloys*. CRC Press, Boca Raton (2009).
- [7] G. Longoni, R.O. Gates, B.K. McDowell, *High temperature gas reactors: assessment of applicable codes and standards*, PNNL-20869 Rev. 1, US Nuclear Regulatory Commission (2015).
- [8] www.ga.com/siga-sic-composite
- [9] D. Weissbach, G. Ruprecht, A. Huke, K. Czerski, S. Gottlieb, A. Hussein, Energy 52, 210 (2013).
- [10] R.T. Balmer, *Modern Engineering Thermodynamics*, Elsevier Burlington (2011).
- [11] X. Wang, *Analysis and Evaluation of the Dual Fluid Reactor Concept*, rozprawa doktorska, Technische Universität Munich (2017).
- [12] A. Huke i inni, *Dual-fluid reactor*, in: Molten Salt Reactors and Thorium Energy, Thomas J. Dolan (ed.) (Elsevier 2017) s. 619-633.
- [13] Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce, Raport Zespołu ds. analizy i przygotowania warunków wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych, Ministerstwo Energii, Warszawa, wrzesień 2017; <http://www.me.gov.pl/node/28011>.

Znaczący postęp w dziedzinie małych reaktorów modułowych stwierdza MAEA

19 października 2018 (NucNet) Znaczący postęp dokonał się w ostatnich latach w dziedzinie małych reaktorów modułowych (SMR), gdyż ok. 50 koncepcji takich reaktorów znajduje się w różnych stadiach rozwoju na całym świecie, a rozpoczęcie ich eksploatacji oczekiwane jest „w najbliższych latach”, napisano w dokumencie MAEA.

Zgodnie z danymi MAEA, reaktory SMR mogą zapewnić potrzeby energetyczne szerokiego kręgu użytkowników i mogą zastąpić starzejące się bloki opalane paliwami kopalnymi. Charakteryzują się one ulepszonymi cechami bezpieczeństwa i mogą być zastosowane w innych dziedzinach niż produkcja energii elektrycznej, np. takich jak chłodzenie, ciepłownictwo i odsalanie wody morskiej.

Konferencja w Pradze na temat energetyki jądrowej w krajach Centralnej i Wschodniej Europy

18 października 2018 (NucNet): Konferencja przemysłu jądrowego w dniach 28-29 stycznia 2019 r. w Pradze (Republika Czeska) poświęcona będzie rozwojowi energetyki jądrowej w krajach Centralnej i Wschodniej Europy — w tym nowym inwestycjom i długoterminowym projektom.

Piąty Kongres Przemysłu Jądrowego Centralnej i Środkowej Europy w 2019 r. zgromadzi delegatów z ponad 15 krajów, podczas którego dyskutowane będą nowe projekty w przemyśle jądrowym, możliwości zawierania kontraktów, zagadnienia finansowe i ryzyko w zarządzaniu oraz sprawy likwidacji obiektów jądrowych i przechowywania odpadów.

Organizatorzy, Grupa SZW (z Chin), przewidują, że w czasie konferencji wygłoszonych zostanie ponad 30 referatów i prezentacji oraz odbędzie się panel dyskusyjny o wyzwaniach w zakresie zaawansowanego cyklu paliwowego, proponowanych innowacjach i zarządzaniu projektami realizowanymi zgodnie z ustalonym harmonogramem i w granicach przewidywanego budżetu.

Na podstawie materiału opublikowanego przez NucNet tłumaczył Andrzej Mikulski,

Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Warszawa

PRACE MODERNIZACYJNE W REAKTORZE MARIA

Refurbishment activity in the MARIA reactor

Andrzej Mikulski

Artykuł poświęcony pamięci dr. Krzysztofa Pytla

Streszczenie: Przedstawiono przeprowadzone prace modernizacyjne w reaktorze MARIA w czasie jego prawie 45-letniej eksploatacji. Można stwierdzić, że większość urządzeń istotnych dla jego bezpiecznej eksploatacji została wymieniona. Z pierwotnego wyposażenia pozostał tylko zbiornik, konstrukcja podtrzymująca elementy paliwowe i rurociągi obu obiegów.

Abstract: The majority of refurbishment work in the MARIA reactor done during its almost 45 years of operation is presented. The most of devices important for its safe operation was exchanged. From the initial equipment only reactor pool, construction supporting fuel elements and pipes of both cooling circuits are the same.

Słowa kluczowe: reaktor badawczy, reaktor MARIA

Keywords: research reactor, MARIA reactor

Wprowadzenie

Historia reaktora MARIA z okazji 40-lecia jego uruchomienia została opisana w jednym z numerów kwartalnika PTN¹. Obecnie chcemy przekazać w jednym miejscu więcej informacji o wykonanych pracach modernizacyjnych w tym okresie mających na celu podniesienie jego bezpieczeństwa eksploatacyjnego.

Reaktor MARIA stanowi w tej chwili jedyny eksploatowany w Polsce reaktor badawczy. Uruchomiony on został w grudniu 1974 r. i podlegał jednej gruntownej modernizacji w latach 1985-1992 oraz szeregu mniejszych modernizacji w latach następnych. Informacje o tych działaniach można znaleźć w kolejnych wydaniach Raportu Bezpieczeństwa znakomicie przygotowywanych przez dr. Krzysztofa Pytla, w Raportach Rocznych IEA i NCBJ oraz w systematycznie publikowanych rocznych sprawozdaniach z eksploatacji reaktora w kwartalniku Postępy Techniki Jądrowej od 1996 r., ale warto zgrupować je w jednym miejscu. Jak wyżej napisano, prace te związane są w pierwszym rzędzie z działaniami na rzecz zwiększenia bezpieczeństwa eksploatacji reaktora MARIA, ale wynikają też z potrzeby zastępowania wyeksploatowanych urządzeń, dla których brakuje części zamiennych oraz pojawienia się techniki komputerowej, która nie istniała praktycznie w czasie, gdy reaktor ten był uruchamiany w 1974 r.

Gruntowna modernizacja w latach 1985-1992

Po ok. prawie 9 latach eksploatacji reaktora MARIA, który był pierwszym, dużym obiektem jądrowym zbudowanym w Polsce (gdy pominiemy zbudowane wcześniej zestawy krytyczne ANNA, MARYLA i AGATA) stwierdzono

potrzebę dokonania niezbędnych zmian wynikających z niedostatków projektu i wad wykonawczych mających istotne znaczenie dla bezpieczeństwa jego eksploatacji. Zakres prac do wykonania był dosyć obszerny i zaplanowano wyłączenie reaktora na ok. 2 lata. Po tym okresie przygotowano nowy Raport Bezpieczeństwa, który przekazano do akceptacji dozorowi jądrowemu. By zorientować się w zakresie tych prac i liczebności zespołu pracowników zaangażowanych w to zadanie zamieszczono pierwszą stronę tego raportu (rys.1). Jest to też forma oddania hołdu dla pracy tego zespołu i chęć wydobycia z niepamięci nazwisk tych ludzi.

Przywołany raport² przytacza listę stwierdzonych usterek w czasie eksploatacji do 1985 r., która może była istotna przy planowanych zmianach dokonanych w obiekcie reaktora, a najważniejsze z nich, w obecnej ocenie, podane są poniżej:

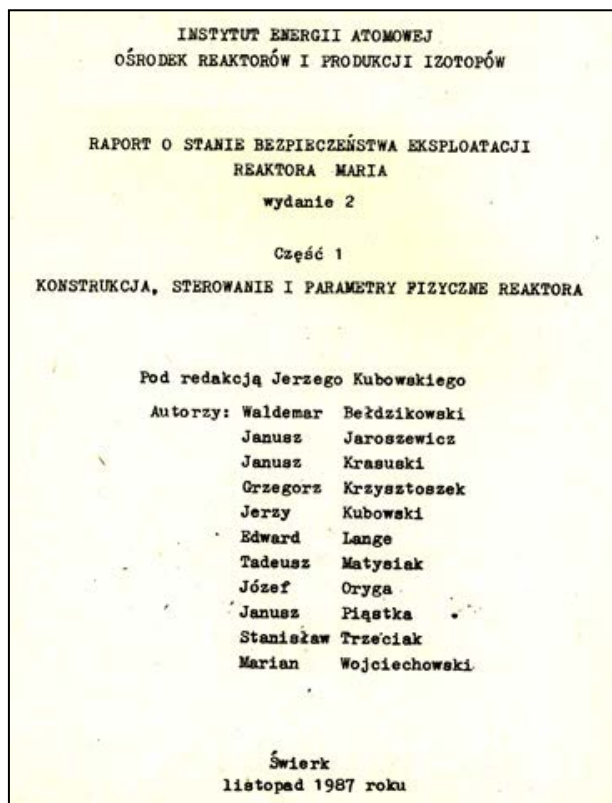
- zainstalowanie pasywnego układu zalewania kanałów paliwowych wodą z basenu reaktora, który działa bez interwencji operatora, otwierając zawory dostarczające wodę do obiegu kanałów paliwowych pod wpływem ciśnienia statycznego słupa wody w basenie reaktora,
- zainstalowanie nowych zaworów w układzie chłodzenia kanałów paliwowych, gdyż wskutek niespełnienia zasady niesprawności bezpiecznej (fail safe) zaistniało niebezpieczeństwo zatkania wylotu kanałów (w wyniku opadnięcia grzybka zaworu), co w konsekwencji groziło nieuniknioną awarią jądrową.
- poprawienie osłonowości stabilizatora ciśnienia, gdyż w warunkach awaryjnych (pojawienie się produktów rozszczepienia w obiegu pierwotnym) mogłoby to stanowić zagrożenie dla personelu sterowni reaktora,

¹ A. Mikulski: Reaktor MARIA dziś (2015), PTJ 2/2015, s. 2-8

² Raport o stanie bezpieczeństwa eksploatacji reaktora MARIA, Opracowanie wewnętrzne IEA nr 0-173/ORiPI/87, Praca zbiorowa w 5 częściach, 1987

- modernizacja systemu wentylacji hali reaktora,
- zamiana kierunku przepływu wody chłodzącej w wymiennikach ciepła pierwotnego obiegu chłodzenia,
- modernizacja chłodni wentylatorowych w II obiegu chłodzenia,
- zainstalowanie wielokanałowej poczty hydraulicznej do produkcji radioizotopów, która umożliwia wprowadzenie do rdzenia reaktora materiałów w czasie pracy reaktora na ustalony czas naświetlania (pierwotnie nie przewidywano zainstalowania takiego urządzenia, gdyż reaktor miał być przeznaczony do badań pętlowych, a nie produkcji izotopów),
- w układach sterowania, zabezpieczeń i kontroli technologicznej zainstalowano aparaturę elektroniczną typu SAKOR-B (zaprojektowaną i wykonaną całkowicie w Zakładzie Aparatury Elektronicznej IBJ) oraz system elektroniczny OKCR do temperatury wylotowej i natężenia przepływu w kanałach paliwowych.

Nowy Raport Bezpieczeństwa gotowy był już pod koniec 1987 r. ale jego zatwierdzenie przez utworzony w 1986 r. Państwowy Dozór Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej i uzyskanie zgody na uruchomienie reaktora trwało dalszych 5 lat co dokładnie było już opisane w PTJ³. Spowodowane to było wymaganiami wykonania dalszych zmian konstrukcyjnych wraz z odpowiednimi analizami bezpieczeństwa, co wobec trudności finansowych IEA nie było łatwe. Ostatecznie drugie doświadczenie fizyczne (uruchomienie reaktora) miało miejsce 30 grudnia 1992 r.



Rys. 1. Strona tytułowa Raportu Bezpieczeństwa reaktora MARIA z 1987 r.
Photo 1. Title page of the reactor safety report MARIA prepared in 1987

³ S. Chwaszczewski: Bitwa o reaktor MARIA po modernizacji, PTJ 2/2015, s.12-13

Dalsze usprawnienia w reaktorze w latach 1995-2004 obejmowały:

- wymianę aparatury systemu sterowania i zabezpieczeń SAKOR-B na znacznie nowocześniejszą aparaturę firmy Hartmann&Braun pozyskaną w formie bezpłatnego przekazania po likwidacji reaktora badawczego SAPHIR w Szwajcarii,
- modernizację systemu wykrywanie nieszczelności elementów paliwowych (WNEP), polegającą na pełnej automatyce pomiarów z przełączaniem kanałów paliwowych i wprowadzaniem niezbędnych korekcji mierzonej aktywności produktów rozszczepienia w każdym kanale paliwowym jako wskaźnika szczelności pojedynczego elementu paliwowego,
- usprawnienie pomp obiegu pierwotnego poprzez usunięcie kół zamachowych (zbędnych jak się okazało po przeprowadzeniu nowej analizy bezpieczeństwa dotyczącej wychłodzenia obiegu pierwotnego po nagłym wyłączeniu zasilania elektrycznego) i skrócenie wału napędowego.

W kolejnych latach 2006-2008 miała miejsce modernizacji systemu dozymetrycznego związana z wymianą detektorów i linii pomiarowych oraz zainstalowaniem w sterowni reaktora panelu informacyjnego (fot. 1).

W 2008 r. dokonano modernizacji systemu SAREMA zbierania danych z pomiarów technologicznych, który umieszczono w sterowni obok pulpitu operatora. System w sposób nowoczesny wyświetla na ekranie (fot. 2) wyniki pomiarów temperatury wylotowej i natężenia przepływu w kanałach paliwowych oraz obliczoną moc cieplną generowaną w każdym kanale paliwowym, a także wyświetla parametry obiegów chłodzenia, sumaryczną moc cieplną reaktora oraz parametry pracy kanału molibdenowego.

Kolejną istotną zmianą dokonaną w trzech kolejnych latach 2010-2012 było zainstalowanie trzech nowych wentylatorów typu WO-6000 w chłodni kominowej obiegu wtórnego.

Zgodnie z wymaganiami międzynarodowymi MAEA wszystkie reaktory badawcze pracujące na paliwie wysokowzbogaconym musiały przejść na paliwo niskowzbogacone w izotop uranu-235 do 20%. Proces ten realizowany był z funduszy amerykańskich i rozpoczął się w reaktorze MARIA w 2012 r. i aby uzyskać tę samą moc cieplną reaktora, należało zwiększyć liczbę kanałów paliwowych. Niestety posiadane pompy obiegu pierwotnego nie mogły zapewnić wymaganego chłodzenia kaset paliwowych i należało je wymienić. Operację tą wykonano w 2014 r. i tak opisano w sprawozdaniu drukowanym w PTJ⁴:

Polegała ona, na zamianie czterech dwubiegowych pomp głównych, czterema pompami jednobiegowymi i trzema pompami powyląчениowymi. Konieczność przeprowadzenia modernizacji wynikała z potrzeby przeprowadzenia konwersji rdzenia reaktora MARIA na paliwo niskowzbogacone produkcji francuskiej. Z uwagi na niekorzystne charakterystyki hydrauliczne tego paliwa, a mianowicie wyższe o ok. 30% opory hydrauliczne i mniejszą o ok. 25% powierzchnię wymiany ciepła, istniała konieczność zwiększenia natężenia przepływu chłodziwa w kanałach paliwowych

⁴ A. Gołąb: RAPORT z eksploatacji reaktora badawczego MARIA w 2013 r., PTJ 1/2014 s.18-22

z 25 m³/h, stosowanej dla elementów produkcji rosyjskiej, do 30 m³/h. Istniejący w reaktorze zestaw pomp głównych, nie umożliwiał zapewnienia we wszystkich kanałach paliwowych wydatku chłodziwa na tym poziomie. Podjęto więc decyzję o wymianie pomp głównych, na nowe zapewniające wydatek globalny 800 m³/h, przy dwu pracujących pompach, co umożliwiła przeprowadzenie pełnej konwersji rdzenia reaktora na paliwo niskowzbożacone.

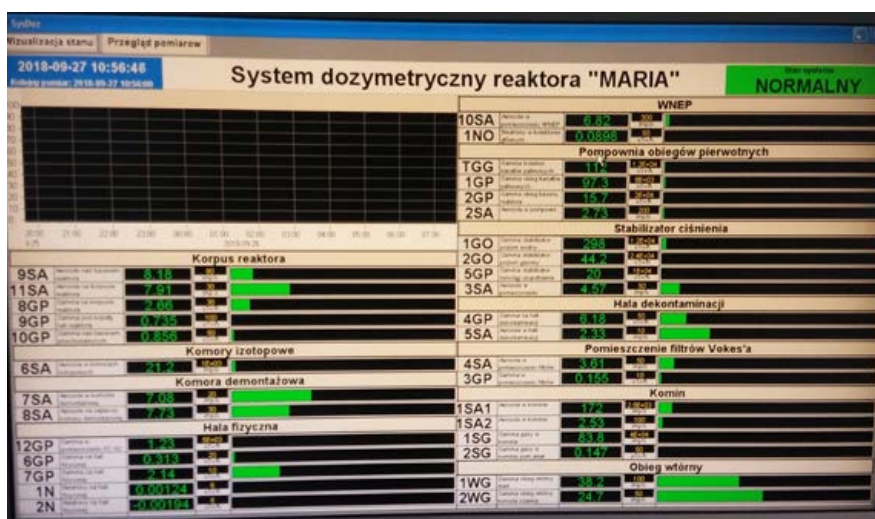
Jednocześnie zmieniono koncepcję chłodzenia powyłączeniowego i awaryjnego reaktora, a mianowicie zainstalowano trzy dodatkowe pompy powyłączeniowe, które w czasie wyłączenia się pomp głównych, bezzwłocznie przejmują chłodzenie powyłączeniowe reaktora.

Inną istotną modernizacją przeprowadzoną w reaktorze była zmiana w konfiguracji rdzenia reaktora polegająca na przeniesieniu kanałów nr 2 i 3 poczty hy-

draulicznej z gniazda h-8 do gniazda H-IX. Operacja ta wymagała umieszczenia w gnieździe H-IX specjalnego bloku berylowego, z otworami umożliwiającymi zainstalowanie w nim kanałów poczty hydraulicznej oraz emisyjnych detektorów neutronów, tzw. kolektronów celem precyzyjnego określenia dawki otrzymywanej przez naświetlane materiały. W dotychczasowym gnieździe h-8 zainstalowano kanał paliwowy.

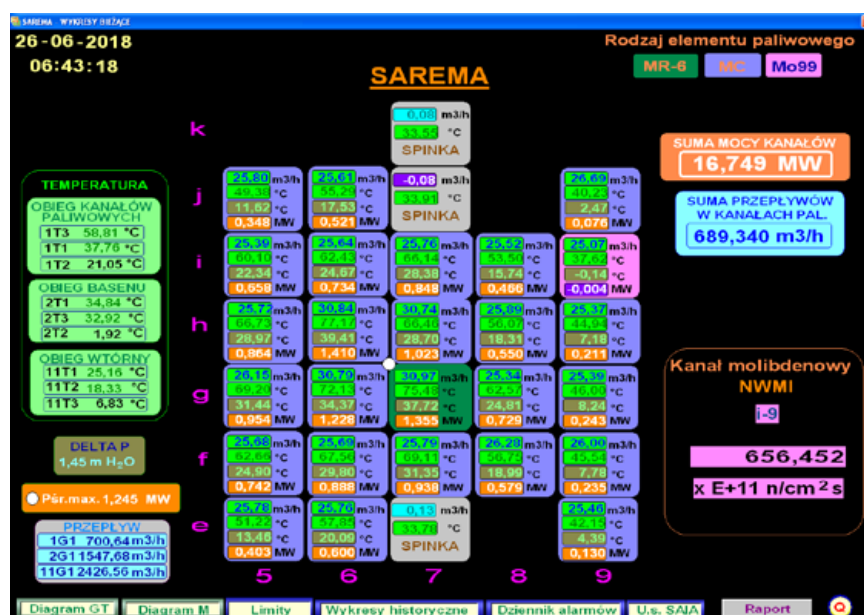
W ramach poprawiania infrastruktury reaktora zmodernizowano również stację transformatorów OPT11 i OPT12 (6/0,4kV), która polegała na zainstalowaniu nowych kontenerowych stacji w miejscu starych.

Widok nowych pomp głównych w pompowni (fot. 3) oraz informacje o ich pracy prezentowane są w nowoczesny sposób na panelu umieszczonym w sterowni reaktora (fot. 4).



Fot. 1. Panel informacyjny systemu dozymetrycznego (fot. A. Mikulski)

Photo 1. The panel of radiation protection system (photo A. Mikulski)



Fot. 2. Panel informacyjny systemu SAREMA (dostarczył A. Frydrysiak, NCBJ)

Photo 2. The panel presenting the SAREMA system operation (submitted by A. Frydrysiak, NCNR)

Trzeba dodać, że nowe pompy zostały wyposażone fabrycznie w system diagnostyki określający w czterech kategoriach (A, B, C i D) poziom drgań czyli zdolność do dalszej pracy. Tym samym zlikwidowano dawny system własnego pomysłu i konstrukcji, który zdaniem piszącego te słowa dostarczał więcej informacji co zostało przedstawione w podsumowaniu 40-lecia pracy reaktora MARIA.⁵

Kolejna modernizacja w 2015 r. dotyczyła układu awaryjnego zasilania reaktora⁶:

Dotychczas stosowane przetwornice elektromaszynowe uległy naturalnemu zużyciu. Naprawa bądź wymiana przetwornic na nowe okazała się niemożliwa, stąd podjęta została decyzja o modernizacji wspomnianych układów. Polegała ona na wymianie przetwornic elektromaszynowych na zasilacze bezprzerwowe typu FTM-200. W wyniku modernizacji uzyskano bardziej niezawodny układ zasilania awaryjnego o prawie dwukrotnie wydłużonym czasie działania.



Fot. 3. Widok czterech nowych pomp głównych pierwotnego obiegu chłodzenia kanałów paliwowych (fot. Andrzej Mikulski)

Photo 3. The view of the four main pumps of fuel channel cooling system (photo: Andrzej Mikulski)

Następny, 2015 rok wiąże się z istotną zmianą przeprowadzoną w układach technologicznych reaktora⁷, a mianowicie:

była [to] modernizacja układu wentylacji reaktora, która polegała na zainstalowaniu przetwornic częstotliwości, na silnikach wentylatorów w układzie wentylacji wyciągowej i nawiewnej z pompowni reaktora, które umożliwiają płynną regulację przepływu powietrza przez wentylatory. Przetwornice te oraz wcześniej zainstalowane przetwornice na jednej parze wentylatorów w układzie wentylacji z hali reaktora, włączone zostały w układ automatycznej kontroli podciśnień w pomieszczeniach technologicznych reaktora. Dzięki temu istnieje możliwość automatycznego dostosowywania wydatków przepływającego powietrza przez wentylator do zadanych wartości podciśnienia. Sposobność ta jest szczególnie istotna w sytuacjach awaryjnych uwolnień gazowych substancji promieniotwórczych do pomieszczeń technologicznych,

ponieważ, w takich stanach, nie można uwalniać dużych ilości skażonego powietrza do środowiska, a miałyby to miejsce przy pracy wentylatorów z pełnym przepływem. Zainstalowanie przetwornic daje możliwość automatycznej redukcji wydatków powietrza wyrzucanego do środowiska w sytuacjach awaryjnych, która inicjowana jest na skutek sygnałów dozymetrycznych wskazujących na przekroczenie dopuszczalnych granic skażeń powietrza usuwanego do środowiska.

Niestety roczne sprawozdanie za 2016 r. nie wspomina o przeprowadzonych modernizacjach, natomiast z prac w następnym [2017] roku⁸:

wymienić należy modernizację układu pomiaru temperatur wody chłodzącej kanały paliwowe. Zgodnie z zaleceniami Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) i przy jej udziale finansowym, w dniach od 28 lipca do 22 września 2017 r., przeprowadzono modernizację układu pomiarowego, mierzącego temperatury wyjściowe z indywidualnych kanałów paliwowych reaktora MARIA oraz układu pomiarowego mierzącego temperaturę globalną wejściową (1T1).

Celem tej modernizacji jest umożliwienie włączenia sygnałów pomiaru temperatur w kanałach paliwowych, w układ zabezpieczeń reaktora, co poprawi bezpieczeństwo jego eksploatacji. Prace przebiegały zgodnie z dokumentem „Projekt techniczny modernizacji układów pomiarowych temperatury w obiegu pierwotnym reaktora Maria” nr W-0416A. Zrealizowano, ujęty w ww. projekcie technicznym montaż: 30 indywidualnych kanałów pomiarowych obejmujący kanały paliwowe: e-5÷e-9; f-5÷f-9; g-5÷g-9; h-5÷h-9; i-5÷i-9; j-5÷j-7; j-9; k-7. W układzie pomiaru temperatur wyjściowych zainstalowano łącznie: 120 szt. termometrów typu PT-100, 90 szt. przetworników temperatury typu TMT-112, 90 szt. układów progowych typu RMA-42, oraz 270 szt. przekaźników wykonawczych. Zmiany w torze pomiarowym 1T1 dotyczyły instalacji 3 termometrów dwupołówkowych PT-100 na kolektorze tłocznym, instalację 6 szt. przetworników TMT-112, 6 szt. układów progowych RMA42, oraz 18 szt. przekaźników wykonawczych. W ramach modernizacji utworzona została zmodyfikowana wersja programu SAREMA zbierania i wizualizacji danych pomiarowych.

Obecnie system znajduje się w fazie testowania i nie został jeszcze wprowadzony do układu zabezpieczeń reaktora. Docelowo, układ ma zapewnić zabezpieczenie od przekroczenia różnicy temperatur wody chłodzącej w kanałach paliwowych, poprzez generację sygnału wyłączenia (SCRAM), od sygnałów pracujących w logice 2 z 3.

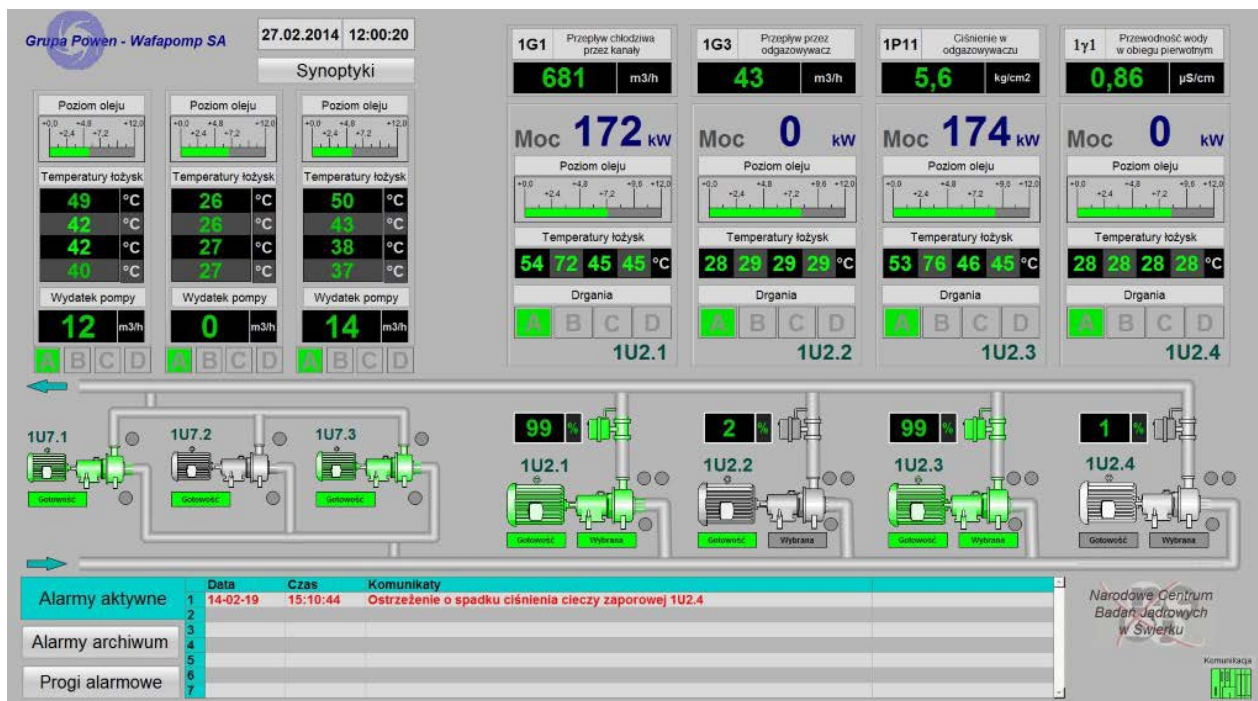
Ponadto, w ramach prac modernizacyjnych, w układzie awaryjnego zasilania w energię elektryczną reaktora, zainstalowano 2 nowe awaryjne agregaty Diesla serii Herkules (typ D/IA-275P), wyprodukowane przez firmę FPT-IVECO (Grupa Fiat), a zakup współfinansowany był przez Ministerstwo Energii. Agregaty te (fot. 5), charakteryzują się możliwością bezzwłocznego obciążenia pełną mocą. Stanowi to dużą zaletę w porównaniu do starych agregatów, dla których czas konieczny do ich obciążenia pełną mocą wynosił ok. 20 minut.

⁵ A. Mikulski: Reaktor MARIA dziś (2015), PTJ 2/2015, s. 5

⁶ J. Idzikowski: Raport z eksploatacji reaktora badawczego MARIA w 2014 r., PTJ 1/2015, s.12-15

⁷ A. Gołąb, M. Tarchalski: Praca reaktora badawczego MARIA w 2015 r., PTJ 1/2016, s. 28-33

⁸ A. Gołąb: Praca reaktora badawczego MARIA w 2017 r., PTJ 1/2018 s. 37-41



Fot. 4. Panel informacyjny o pracy nowych pomp głównych pierwotnego obiegu chłodzenia (dostarczył A. Gołąb, NCBJ)

Photo 4. The panel showing information about operation of new main pumps of primary cooling system (submitted by A. Gołąb, NCNR)



Fot. 5. Widok jednego z dwóch nowych awaryjnych agregatów Diesla (fot. A. Mikulski)

Photo 5. View of one of two new Diesel back-up power generators (photo A. Mikulski)



Fot. 6. Widok ogólny sterowni reaktora MARIA w 2018 r. (fot. A. Mikulski)

Photo 6. The general view of control room of the MARIA reactor in 2018 (photo A. Mikulski)

Podsumowanie

Po prawie 45 latach od uruchomienia reaktora MARIA możemy stwierdzić, jak wiele zmieniło się w jego wyposażeniu technicznym i jak podniósł się poziom techniczny zastosowanej aparatury. Można bez wątpliwości zauważyć, że jest to prawie nowy reaktor, nie licząc zbiornika, konstrukcji podtrzymującej elementy paliwowe i rurociągów obu obiegów. Aktualny widok sterowni reaktora MARIA przedstawiony jest na kolejnej fotografii (fot. 6). Zatem eksploatacyjny poziom bezpieczeństwa jest nieporównywalnie wyższy niż w latach 70. ubiegłego wieku. Przeprowadzone modernizacje pozwalają sądzić, że reaktor może być jeszcze eksploatowany przez 20 lat, do 2040 r.

Przedstawienie tak obszernego materiału o modernizacji reaktora ma jeszcze jeden cel. Chodzi o wskazanie, że od prototypu do sprawdzonego obiektu jest droga daleka, a piszę to w kontekście planowanych prac nad reaktorem wysokotemperaturowym, którego wersja przemysłowa ma być realizowana prawie równolegle z reaktorem doświadczalnym. Trzeba jasno stwierdzić, że projektowanie i budowa obiektu przemysłowego powinna mieć miejsce dopiero po uzyskaniu przynajmniej minimalnych doświadczeń z eksploatacji obiektu doświadczalnego.

Autor pragnie wyrazić podziękowanie p. Grzegorzowi Krzysztozkowi z NCBJ w Świerku za przejrzanie artykułu i uzupełniające uwagi.

dr inż. Andrzej Mikulski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa

CHARAKTERYSTYKA WYBRANYCH TYPÓW ELEKTROWNI JĄDROWYCH GENERACJI III/III+

Characteristics of selected types of generation III/III+ nuclear power plants

Małgorzata Klisińska, Łukasz Koszuc

Streszczenie: Energetyka jądrowa rozwija i doskonali technologię reaktorów już od sześciu dekad. Dlatego rozróżnia się kilka generacji reaktorów jądrowych, z których każda wyróżnia się innymi cechami związanymi z projektem, kwestiami bezpieczeństwa, czy wykorzystaniem paliwa jądrowego. Zdecydowana większość reaktorów obecnie eksploatowanych na świecie została zbudowana w latach 70. i 80. XX wieku. Są to reaktory II generacji. Program Polskiej Energetyki Jądrowej zakłada budowę elektrowni jądrowych generacji III/III+. Rynek oferuje kilka konkretnych technologii tej generacji. W niniejszym artykule prezentowane są informacje o czterech z nich – trzech reaktorach wodnych ciśnieniowych – AP1000, APR1400 oraz EPR, a także jednym reaktorze wodnym wrzącym – ABWR. Artykuł zawiera informacje zebrane na potrzeby jednego z tematów realizowanych przez autorów w Narodowym Centrum Badań Jądrowych.

Abstract: Nuclear Power Industry has been developing and improving reactor technology for six decades. The history of reactors development is divided into several generations that differ in their design, approach to safety issues, utilization of nuclear fuel and so on. The vast majority of reactors, currently in operation in the world, was built in the 1970s and 1980s. They are considered as the second generation reactors. The Polish Nuclear Power Programme assumes construction of NPP of III/III+ generation. Several technologies are available on the market. In the current paper the information on four of them is contained – three of PWR type – AP1000, APR1400 and EPR, and one of BWR type – ABWR. The information in this article has been compiled for the needs of one of the topics performed at National Centre for Nuclear Research.

Słowa kluczowe: Elektrownia jądrowa, generacja III/III+, ABWR, AP1000, APR1400, EPR

Keywords: Nuclear power plant, generation III/III+, ABWR, AP1000, APR1400, EPR

1. Wstęp

Energetyka jądrowa rozwija i doskonali technologię reaktorów już od sześciu dekad. Dlatego rozróżnia się kilka generacji reaktorów jądrowych, z których każda wyróżnia się innymi cechami. Zdecydowana większość reaktorów obecnie eksploatowanych na świecie została zbudowana w latach 70. i 80. XX wieku. Są one uważane za reaktory II generacji, ich technologia oparta jest na doświadczeniach uzyskanych w reaktorach generacji I zbudowanych w latach 50. i na początku lat 60. Reaktory III generacji rozpoczęto budować na świecie na początku lat 90. ubiegłego wieku. Ich technologia, bezpieczeństwo i ekonomika jest cały czas poprawiana, dlatego definiuje się dodatkową podgrupę reaktorów generacji III+. Oczywiście już teraz projektuje się reaktory wyższych generacji – IV, a nawet V, ale wciąż znajdują się one jeszcze na deskach kreślarskich.

Reaktory generacji III i III+ posiadają wiele zalet:

- prostsza i bardziej wytrzymała konstrukcja, dzięki czemu reaktory są łatwiejsze w obsłudze i mniej podatne na zakłócenia w działaniu;
- większe wykorzystanie pasywnych systemów bezpieczeństwa, które nie wymagają aktywnych kontroli i polegają na zjawiskach naturalnych;
- zmniejszone prawdopodobieństwo wystąpienia awarii ze stopnieniem rdzenia;
- nowe środki łagodzące w przypadku awarii stopienia rdzenia, w celu znacznego ograniczenia wpływu takich wypadków na środowisko i społeczeństwo;
- odporność na uderzenia dużego samolotu;
- wystandaryzowane projekty, co pozwala skrócić czas

- licencjonowania i budowy, a także koszty kapitałowe;
- dłuższa kampania paliwowa;
- większy stopień wypalenia paliwa, pozwalający na zmniejszenie ilości wytwarzanych odpadów promieniotwórczych;
- dłuższy okres eksploatacji, nawet do 60 lat.

Program Polskiej Energetyki Jądrowej zakłada budowę elektrowni jądrowych generacji III/III+. Rynek oferuje kilka konkretnych technologii tej generacji. W niniejszym artykule prezentowane są informacje o czterech z nich – trzech reaktorach wodnych ciśnieniowych – AP1000, APR1400 oraz EPR, a także jednym reaktorze wodnym wrzącym – ABWR. Artykuł zawiera informacje zebrane na potrzeby jednego z tematów realizowanych przez autorów w Narodowym Centrum Badań Jądrowych.

2. Elektrownia jądrowa ABWR

Zaawansowany reaktor z wodą wrzącą ABWR (*Advanced Boiling Water Reactor*) został opracowany przez General Electric we współpracy technicznej z Hitachi Ltd. i Toshiba Corp., a prace sponorsowało Tokyo Electric Power Company – TEPCO [1, 2]. W projekcie wykorzystano najlepsze cechy reaktorów BWR, dostępne nowe technologie, technologie konstrukcji modułowych i udoskonalenia pod względem bezpieczeństwa.

Materiałem paliwowym w reaktorze ABWR jest UO_2 . Część prętów paliwowych zawiera domieszkę gadolinu, jako wypalającej się trucizny, w celu wyrównania reaktywności w trakcie kampanii paliwowej. Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej reaktora wynosi 87%

lub więcej, co jest znaczącym postępowaniem wobec wcześniejszych reaktorów BWR.

Innowacyjnym rozwiązaniem zastosowanym w reaktorze ABWR jest zastąpienie zewnętrznych pomp recyrkulacyjnych i pomp strumieniowych pompami umieszczonymi na dnie zbiornika ciśnieniowego (*Reactor Internal Pumps – RIP*), aby bezpośrednio wymuszać cyrkulację wody w reaktorze. Spowodowało to takie korzyści, jak zmniejszenie wymaganego miejsca w obudowie bezpieczeństwa, zmniejszenie mocy potrzebnej do pompowania chłodziwa, zwiększenie zakresu wydatku chłodziwa przez rdzeń, eliminację dużych przepustów w zbiorniku reaktora poniżej strefy paliwowej, co redukuje ryzyko odsłonięcia rdzenia i zmniejsza wymagania wobec układu awaryjnego chłodzenia rdzenia, a także zmniejsza narażenie radiacyjne personelu.

Układ awaryjnego chłodzenia rdzenia (UACR) reaktora ABWR składa się z trzech niezależnych sekcji z pompami zarówno wysoko- jak i niskociśnieniowymi, z własnym awaryjnym zasilaniem z generatorów Diesla oraz ma niezależny odbiór ciepła. Każda sekcja zawiera wszystkie układy potrzebne do wypełnienia funkcji bezpieczeństwa. W celu dywersyfikacji, jedna z sekcji posiada wysokociśnieniową pompę napędzaną turbiną parową wykorzystującą parę z reaktora. Zastosowanie trzech generatorów Diesla do zasilania układu chłodzenia rdzenia i odbioru ciepła, jak również dodatkowej turbiny parowej redukuje ryzyko wystąpienia blackoutu.

W reaktorze zastosowano precyzyjne napędy prętów regulacyjnych z silnikami krokowymi o skoku 19,05 mm, które pozwalają wyłączyć reaktor wsuwając pręty za pomocą napędu hydraulicznego lub elektrycznego. Obudowa bezpieczeństwa składa się z tzw. górnej suchej studni (*drywell*), obejmującej obieg pierwotny.

Obudowa bezpieczeństwa składa się z pierwotnej (wewnętrznej) obudowy bezpieczeństwa i budynku reaktora, który stanowi wtórną obudowę bezpieczeństwa. Pierwotna obudowa bezpieczeństwa jest żelbetową konstrukcją o grubości 2 m, z wewnętrzną wykładziną stalową, w której utrzymywana jest atmosfera gazu obojętnego (azotu) podczas całej eksploatacji, z wyjątkiem przeładunku paliwa lub konserwacji. Pierwotna obudowa mieści jądrowy układ wytwarzania pary, tzw. suchą studnię (*drywell*), która obejmuje obieg pierwotny, mokrą studnię (*wetwell*), generatory Diesla, układ awaryjnego chłodzenia rdzenia i pozostałe układy pomocnicze. Ciśnienie projektowe pierwotnej obudowy bezpieczeństwa wynosi 310 kPa, a temperatura projektowa 171°C. Zintegrowane budynki reaktora i obudowa bezpieczeństwa są licencjonowane na bezpieczne wyłączenie reaktora przy trzęsieniu ziemi o przyspieszeniu 0,3g.

Wymagania dotyczące poprawy bezpieczeństwa spowodowały, że jednym z celów w projekcie ABWR była redukcja częstotliwości uszkodzenia rdzenia o jeden rząd wielkości względem obecnie eksploatowanych EJ. Dla reaktora ABWR wynosi ona $1,6 \cdot 10^{-7}$.

Modułowa konstrukcja reaktora skraca czas budowy do 48 miesięcy. Reaktor ABWR jest obecnie (2018 rok) jedynym pracującym reaktorem generacji III+. Pierwszym oddanym do użytku blokiem z reaktorem ABWR był Kashiwazaki-Kariva-6, który uruchomiono w 1996 r. Następnie zostały oddane do eksploatacji Kashiwazaki-Kariva-7 (1997), Hamaoka-5 (2005), Shika-2 (2006). W Japonii w budowie są dwa następne bloki: Ohma i Shimane-3. Na Tajwanie w budowie są bloki Lungmen-1 i -2. ABWR posiada licencje na eksploatację w Japonii, USA i na Tajwanie [3].

3. Elektrownia jądrowa AP1000

AP1000 – reaktor wodno-ciśnieniowy firmy Westinghouse [2]. Nazwa reaktora oznacza Zaawansowany reaktor Pasywny (*Advanced Passive – AP*). Jest on wynikiem wieloletnich prac prowadzonych w celu sprostania wymogom stawianym zaawansowanym reaktorom lekkowodnym w dokumencie towarzystw energetycznych *Advanced Light Water Reactor Utility Requirements Document*. Reaktor posiada dwie pętle chłodzące, przy mocy cieplnej 3415 MWt. Pętle chłodzące posiadają dwie zimne gałęzie z głównymi pompami cyrkulacyjnymi umieszczonymi bezpośrednio na króćcach wylotowych wytwornic pary, co eliminuje rurociągi między wytwornicami a pompami.

Materiałem paliwowym reaktora jest UO_2 . Rdzeń składa się ze 157 kaset paliwowych 7 typów. Zróżnicowane wzbogacenie poszczególnych kaset, pręty paliwowe z wypalającą się trującą w postaci cienkiej warstwy ZrB_2 na powierzchni pastylek paliwowych (IFBA – *Integral Fuel Burnable Absorber* – zintegrowany z paliwem wypalający się absorber) i pierścieniowe pręty wykonane z $Al_2O_3 \cdot B_4C$ (WABA – *Wet Annular Burnable Absorber* – mokry pierścieniowy wypalający się absorber), umieszczone w wybranych rurach wiodących, pozwalają uzyskać równomierny rozkład mocy w rdzeniu. Optymalny czas między przeładunkami paliwa wynosi 18 miesięcy, przy współczynniku wykorzystania mocy zainstalowanej 93%.

Wszystkie układy awaryjnego chłodzenia reaktora działają w sposób pasywny, nie posiadają pomp i nie wymagają zasilania. W związku z tym nie ma potrzeby instalowania awaryjnych źródeł prądu zmiennego. Jedynie niektóre zawory i urządzenia uruchamiające są zasilane z baterii. W reaktorze zastosowano trzy źródła dostarczające wodę borowaną do zalewania rdzenia na wypadek awarii utraty chłodziwa: 2 zbiorniki układu oczyszczania i uzupełniania chłodziwa, 2 hydroakumulatory utrzymywane pod ciśnieniem 4,9 MPa przez poduszkę azotową oraz zbiornik o objętości 2100 m³ wewnątrz obudowy bezpieczeństwa (tzw. *In-containment Refueling Water Storage Tank*), który służy również do kondensacji pary upuszczanej ze stabilizatora ciśnienia i odbioru ciepła powyłączeniowego oraz jako źródło wody do zalania szybu reaktora do poziomu pętli chłodzących. W wypadku stopienia rdzenia paliwo zostanie zatrzymane wewnątrz zbiornika.

W porównaniu z blokiem jądrowym o podobnej mocy, AP1000 ma o 35% mniej pomp, o 80% mniej przewodów rurowych związanych z bezpieczeństwem oraz o 50% mniej zaworów bezpieczeństwa klasy ASME. Większość instalacji bezpieczeństwa mieści się w obudowie bezpieczeństwa, wobec tego ilość przepustów przez obudowę bezpieczeństwa jest o ok. 55% mniejsza niż w obecnie pracujących blokach jądrowych. Obudowa bezpieczeństwa reaktora składa się z dwóch powłok: wewnętrznej stalowej o grubości ściany 44,5 mm zapobiegającej wyciekowi i zewnętrznej ściany betonowej. Na szczycie obudowy bezpieczeństwa znajduje się zbiornik wody o pojemności 3000 m³, której zadaniem jest chłodzenie wewnętrznej powłoki stalowej, a po wyczerpaniu zapasu wody między obiema powłokami wytwarza się naturalna cyrkulacja powietrza, która chłodzi obudowę. Oczekuje się, że w przypadku awarii projektowej bierne układy wystarczą do osiągnięcia i utrzymania stanu bezpiecznego wyłączenia reaktora przez 72 godziny bez konieczności interwencji operatora. Reaktor jest odporny na uderzenie samolotu i trzęsienie ziemi o przyspieszeniu 0,3g. Prawdopodobieństwo stopienia rdzenia według analizy probabilistycznej wynosi $2,4 \cdot 10^{-7}$ /rok.

Wykorzystanie technologii modułowej skraca czas budowy do 3 lat dla jednostek poza prototypem. Obecnie w budowie są dwa reaktory AP-1000 w Stanach Zjednoczonych – Vogtle-1 i -2, i w Chinach – Sanmen-2, i Haiyang-1 i -2, [3]. Chiński blok Sanmen-1 został przyłączony do sieci 30 czerwca 2018 r.

4. Elektrownia jądrowa APR1400

APR1400 (*Advanced Power Reactor*) jest nowoczesnym ewolucyjnym reaktorem wodno-ciśnieniowym, dwupętlowym z dwiema zimnymi gałęziami w każdej pętli [2]. Producentem technologii tego zaawansowanego reaktora energetycznego są firmy Korea Electric Power Corporation (KEPCO) and Korea Hydro & Nuclear Power Co., Ltd. (KHNP).

Kasety paliwowe używane w reaktorze mają układ 16x16 i zawierają 236 prętów paliwowych z UO_2 , przy czym w części kaset 12 lub 16 prętów ma 8% domieszkę Gd_2O_3 , jako wypalającą się truciznę. Reaktor może korzystać bądź wyłącznie z paliwa UO_2 , bądź z UO_2 z 1/3 paliwa MOX.

Blok z reaktorem APR1400 może pracować w trybie nadążania za obciążeniem. Współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej wynosi co najmniej 90%, a długość cyklu paliwowego 18 miesięcy lub dłużej. W reaktorze wdrożono wiele udoskonaleń i zaawansowanych cech projektowych, np. konwencjonalny sprężynowy zawór bezpieczeństwa na stabilizatorze ciśnienia jest tu zastąpiony przez zawór pilotowy sterowany ciśnieniem (*Pilot Operated Safety Relief Valve – POSRV*), układ chłodzenia zbiornika reaktora, zintegrowaną głowicę zbiornika w celu ułatwienia i skrócenia przeglądów i remontu. Ze względu na brak spawów w strefie paliwowej, zbiornik reaktora charakteryzuje się zwiększoną odpornością na uszkodzenia.

Układ bezpieczeństwa składa się układu awaryjnego zalewania rdzenia, dużego basenu wody do przeładunku paliwa wewnątrz obudowy bezpieczeństwa, z którego woda wykorzystywana jest do zalewania rdzenia, a następnie wraca do basenu, układu redukcji nadciśnienia i usuwania pary, układu zraszania obudowy bezpieczeństwa oraz awaryjnego układu wody zasilającej. Główną koncepcją awaryjnego układu zalewania jest jego uproszczenie i redundancja – układ składa się z czterech oddzielnych linii z bezpośrednim wtryskiem do zbiornika reaktora bez połączeń między liniami, z podwójnym układem zasilania elektrycznego. Każda z czterech linii zalewania posiada część aktywną z pompą i część pasywną ze zbiornikiem chłodziwa i regulatorem przepływu. Dodatkowo zostały rozdzielone funkcje układu awaryjnego zalewania i odbioru ciepła powyłączeniowego. Reaktor jest odporny na trzęsienie ziemi o przyspieszeniu 0,3 g. Obudowa bezpieczeństwa o grubości 1,37 m wykonana jest ze sprężonego betonu pokrytego wewnątrz stalową powłoką zabezpieczającą przed wyciekami. Szacowane prawdopodobieństwo uszkodzenia rdzenia wynosi poniżej 10^{-5} /rok, a prawdopodobieństwo uszkodzenia obudowy bezpieczeństwa mniej niż 10^{-6} /rok. Po wystąpieniu awarii czas na działanie operatorów wynosi co najmniej pół godziny.

Pierwszym blokiem z reaktorem APR1400, włączonym do sieci 20 grudnia 2016 r., był Shin-Kori-3. W 2009 r. rozpoczęto budowę Shin-Kori-4, w budowie są bloki Shin-Hanul-1 i -2, w 2017 r. rozpoczęto budowę Shin-Kori-5, a w planach jest Shin-Kori-6. Pierwszy eksportowy reaktor APR1400 powstaje w Zjednoczonych Emiratach Arabskich – EJ Barakah [3].

5. Elektrownia jądrowa EPR

EPR – Europejski Reaktor Wodno-Ciśnieniowy jest reaktorem generacji III+ [2]. Skrót EPR jest również tłumaczony jako Ewolucyjny Reaktor Wodno-Ciśnieniowy, ponieważ przy jego projektowaniu oparto się o najlepsze doświadczenia dwóch reaktorów: niemieckiego – KONVOI i francuskiego – N4, uzupełnione o innowacyjne rozwiązania w dziedzinie bezpieczeństwa, jak najlepszego wykorzystania paliwa i osiągnięć pracy bloku EJ.

EPR należy do największych reaktorów typu PWR – jego moc elektryczna wynosi ok. 1650 MWe. Możliwe jest stosowanie w nim paliwa UO_2 , jak i paliwa MOX bez lub z gadolinem o zawartości 2 do 8% (wagowo), jako wypalającą się trucizną. Materiałem koszulek, siatek dystansujących kaset paliwowych i rur wiodących jest stop M5 (cyrkon z 1% niobu) firmy AREVA. Odnacza się on wysoką odpornością na korozję, niskim wychwytem wodoru, odpornością na pękanie i stabilnością wymiarów. Pozwala na maksymalne wypalenie paliwa sięgające 80 GWd/t.

Elementem wyróżniającym reaktor EPR jest zastosowanie wokół rdzenia tzw. ciężkiego reflektora, który ogranicza strumień neutronów padających na ścianę zbiornika oraz poprawia ekonomię neutronów, przez co możliwe jest zmniejszenie wzbogacenia paliwa lub/i wydłużenie cyklu paliwowego. Szacuje się, że koszt paliwa będzie o 17% niższy w stosunku do obecnie pracujących reaktorów PWR. Przewiduje się, że współczynnik wykorzystania mocy zainstalowanej wyniesie 92%. Wysokie ciśnienie po stronie wtórnej, 7,72 MPa, pozwala na uzyskanie najwyższej dla reaktorów wodnych sprawności termodynamicznej 36-37%. Ilość długożyciowych aktywności na jednostkę mocy w wypalonym paliwie będzie o 15% mniejsza niż w obecnych reaktorach tego typu.

EPR wyposażony jest podwójną betonową obudowę bezpieczeństwa, która obejmuje zarówno sam reaktor, przechowywałnik wypalonego paliwa, jak i dwa z czterech budynków układów bezpieczeństwa, zdolną wytrzymać uderzenie lecącego z dużą prędkością samolotu pasażerskiego lub wojskowego. Wewnętrzna obudowa bezpieczeństwa posiada stalową powłokę, zapobiegającą wyciekom. Żelbetowa płyta, na której umieszczona jest część jądrowa bloku ma 4,5 m grubości i jest odporna na wstrząsy sejsmiczne. Układ bezpieczeństwa składa się z czterech, rozseparowanych przestrzennie, sekcji obejmujących układy awaryjnego zalewania i awaryjne układy wody zasilającej wraz z ich układami pomocniczymi. Wewnątrz obudowy bezpieczeństwa znajduje się duży basen wody borowanej, wykorzystywany do przeładunków paliwa, a w sytuacjach awaryjnych, jako źródło wody dla układu awaryjnego chłodzenia rdzenia, dla układu chłodzenia obudowy bezpieczeństwa, a w przypadku poważnej awarii do chłodzenia układu retencji stopionego rdzenia (tzw. łapacz rdzenia), składającego się z tunelu i komory rozpliwowej.

29 czerwca 2018 r. w Chinach przyłączono do sieci pierwszy na świecie blok z reaktorem EPR – Taishan-1. Obecnie w fazie budowy są reaktory EPR w Finlandii – Olkiluoto-3, we Francji – Flamanville, w Chinach – Taishan-2 [3].

6. Porównanie cech charakterystycznych elektrowni ABWR, AP-1000, APR1400 i EPR

W Tabeli 1 zebrano najważniejsze parametry analizowanych reaktorów na podstawie danych dostępnych w bazach danych, publikacjach i artykułach: [1, 2, 4, 5, 6].

Tabela 1. Porównanie cech charakterystycznych elektrowni ABWR, AP1000, APR1400 i EPR
Table 1. Comparison of the characteristic features of the ABWR, AP1000, APR1400 and EPR power plants

Układ/Parametr	ABWR	AP1000	APR1400	EPR
Informacje ogólne				
Typ reaktora	BWR	PWR	PWR	PWR
Moc elektryczna netto, MWe	1350	1110	1450	1650
Moc cieplna rdzenia, MWt	3926	3415	4000	4500
Sprawność, %	34,4	32,6	35,1	36
Czas eksploatacji, lata	60	60	60	60
Pierwotny obieg chłodzący				
Liczba pętli	2	2	2	4
Liczba pomp obiegowych	2+10 RIP ^{a)}	4	4	4
Ciśnienie robocze, MPa	7,07	15,513	15,513	15,5
Ciśnienie maksymalne, MPa	8,62	17,2	17,2	17,6
Temperatura na wlocie do rdzenia, °C	278	279,4	290,6	295,7
Temperatura na wylocie ze zbiornika, °C	288	324,7	323,9	329,9
Przyrost temperatury w rdzeniu, °C	10	45,3	33,3	34,2
Temperatura wody zasilającej (100% mocy), °C	215,6	226,7	232,2	230
Wydatek chłodziwa w obiegu, kg/s	14502	14300	20991	22225
Ciśnienie pary na wylocie z WP ^{b)} , MPa	7,07	5,76	6,9	7,72
Wydatek pary (ze wszystkich WP w PWR, z rdzenia ABWR), kg/s	2122	1889	1130,83	2604
Kaseta paliwowa				
Siatka kasety	10x10	17x17	16x16	17x17
Liczba prętów paliwowych	70 – pełnej długości 14 – krótkich	264	236	265
Liczba rur prowadzących	–	25	20	24
Liczba kaset w rdzeniu	872 /9	157	241	241
Liczba prętów sterujących w rdzeniu	205	53 „czarne” ^{f)} 16 „szare” ^{g)}	93	89 tylko „czarne”
Długość części paliwowej kasety w stanie zimnym, cm	371	426,7	381	420
Całkowita długość kasety w stanie zimnym, cm	447			480
Średnia gęstość mocy w rdzeniu, MW/m ³	50,6	109,7	100,9	94,6
Średnia gęstość mocy w paliwie, MW/MTHM ^{c)}	25,0	40,2	38,44	36,2
Pręty paliwowe				
Liczba prętów w rdzeniu	73248	41448	56876	63865
Średnia gęstość mocy na jednostkę długości, W/cm	136,0	187,0	183,8	163,4
Materiał koszulki	Zircaloy-2	ZIRLO	Zircaloy-4	M5
Pastyliki paliwowe				
Materiał paliwowy	UO ₂ lub UO ₂ +Gd ₂ O ₃	UO ₂	UO ₂	UO ₂ lub MOX ^{g)}
Gęstość materiału paliwowego, g/cm ³		10,4668	10,44	
Maksymalne wzbogacenie, %	4,2	≤5	3,64	≤5
Długość kampanii paliwowej, m-ce	24	18	>18	18, 24
Średnie wypalenie wyładowywanego paliwa, MWd/kgIHM ^{d)}	50	60	55	≥55 (cykl 18 m-cy) ≤65 (cykl 24-m-ce)
Zbiornik reaktora				
Średnica wewnętrzna na poziomie rdzenia, cm	710	403,86	465,5	487
Grubość ścian zbiornika, cm	19,0	20,3	28,4	25,0
Średnica równoważna rdzenia, cm	516,3	304	363	376,7

a) RIP – reactor internal pump – pompy wewnątrzrdzeniowe,

b) WP – wytwornica pary,

c) MTHM – metric tonn of heavy metal – tona metryczna ciężkiego metalu (uranu lub/i plutonu),

d) kgIHM – kg of initial heavy metal – początkowa zawartość w kg ciężkiego metalu (uranu lub/i plutonu) w paliwie,

e) „czarne” – pręty sterujące o silnym pochłanianiu neutronów (materiał Ag-In-Cd),

f) „szare” – pręty sterujące o zredukowanym pochłanianiu neutronów (materiał Ag-In-Cd/304SS, SS steinles steel – stal nierdzewna),

g) MOX – mixed oxide fuel – paliwo jądrowe wykonane z mieszanki tlenków uranu i plutonu, odzyskanego z przerobu wypalonego paliwa.

Małgorzata Klisińska,
Łukasz Koszuk
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk

Literatura:

- [1] General Electric, *The ABWR plant general description*, December 2006.
- [2] International Atomic Energy Agency, *The database on advanced nuclear power reactors*, <https://aris.iaea.org/>.
- [3] International Atomic Energy Agency, *The database on nuclear power reactors*, <https://www.iaea.org/pris/>.
- [4] *Fuel design data*, Nuclear Engineering International, pages 30–39, 2010.

- [5] F. et al. Franceschini, *Westinghouse VERA test stand, zero power physics test simulations for the AP1000?* Technical Report CASL-U-2014-0012-000, 2014.
- [6] G. Sengler, F. Forast, G. Schlosser, R. Lisdat, and S. Stelletta, *EPR core design*, Nuclear Engineering and Design, 187(1):79 – 119, 1999.
- [7] World Nuclear News, 2 July 2018.
- [8] World Nuclear News, 29 June 2018.

OSTATNIE DONIESIENIA Z CERNU

The Latest News from CERN

Małgorzata Nowina-Konopka

Streszczenie: Główne cele projektu LHC: odkrycie bozonu Higgsa, badania antymaterii i plazmy kwarkowo – gluonowej osiągnęły etap coraz bardziej subtelnej analizy danych. Są poszukiwane nowe cząstki oraz zjawiska świadczące o istnieniu „nowej fizyki” wykraczającej poza Model Standardowy. Są planowane nowe eksperymenty, pozwalające na uzyskanie jeszcze wyższych energii niż w LHC. Zarówno w pomysłach na nowe eksperymenty, jak i w interpretacji danych Polacy mają spore sukcesy.

Abstract: The main goals of the LHC project: the discovery of the Higgs boson, the study of antimatter and quark – gluon plasma have reached the stage of increasingly subtle data analysis. New particles and phenomena are being sought that testify to the existence of a “new physics” that goes beyond the Standard Model. New experiments are planned to allow for even higher energy than in the LHC. Both in ideas for new experiments and in the interpretation of data, Poles are quite successful.

Słowa kluczowe: Model Standardowy, LHC, hadrony, bariony, mezony,

Key words: Standard Model, LHC, hadrons, barions, mesons.

***Gamma Factory – Fabryka promieniowania Gamma – nowy projekt badawczy w CERN:**

W Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych — CERN grupa naukowców, poszukuje metody wytwarzania wiązek promieniowania gamma o dużej energii i dużej intensywności. Projekt nazywa się Gamma Factory i polega na wzbudzeniu rozpędzonych do niemal prędkości światła zjonizowanych atomów za pomocą intensywnej wiązki laserowej. W wyniku wzbudzenia następuje spontaniczna re-emisja promieniowania gamma, które dzięki efektowi Dopplera ma znacznie wyższą energię.

Przyspieszanie atomów nie całkiem odartych z elektronów może być bardzo trudne, łatwo bowiem w procesie przyspieszania oderwać elektron, a to nieuchronnie prowadzi do zmiany orbity i kolizji z rurą akceleratora. Wynika to z faktu, że stosunek ładunku do masy „pocisku” przestaje być zsynchronizowany z polem magnesów LHC.

Tak uzyskane promienie gamma miałyby wystarczającą energię do wytworzenia normalnych cząstek „materii”, takich jak kwarki, elektrony, a nawet miony. Ponieważ materia i energia są równoważne, wysokoenergetyczne promienie gamma przekształcą się w masywne cząstki i mogą nawet przekształcić się w nowe rodzaje materii, takie jak ciemna materia. Mogą również być źródłem nowych typów wiązek cząstek, takich jak wiązka mionowa.

Pod koniec lipca po raz pierwszy w wielkim zderzaczu hadronów LHC przyspieszano wiązkę jonów ołowiu niosących pojedynczy elektron, a nie jak dotąd, pojedyncze protony lub jądra atomowe. Przeprowadzony test stanowi duży krok w kierunku realizacji nowego projektu CERN, jakim jest Fabryka Promieniowania Gamma (ang.: Gamma Factory).



Fot. 1. Prof. Witold Krasny podczas wykładu
Photo 1. Prof. Witold Krasny during the lecture



Fot. 2. Grafika Andrzeja Mleczki ilustrująca eksperyment Gamma Factory
Photo 2. Graphic of Andrzej Mleczko illustrating the Gamma Factory experiment

Koordynatorem projektu jest Polak, krakowianin – prof. Witold Krasny, który ukończył fizykę na Uniwersytecie Jagiellońskim. Jest też absolwentem Wydziału Elektrycznego AGH. Doktorat obronił w Instytucie Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego w Krakowie. Od wielu lat jest związany z laboratorium LPNHE Uniwersytetu Sorbona w Paryżu, jednocześnie utrzymuje stałą współpracę z naukowcami z IFJ PAN.

W 2015 r. podczas organizowanej w Krakowie konferencji pod nazwą Epiphany, prof. Krasny przedstawił pomysł realizacji Gamma Factory. Przyjęto go wtedy jako samotnego futurystę – wizjonera. Teraz pracuje w CERN i koordynuje pracę zespołu liczącego około 50 naukowców, ma oficjalne poparcie dyrekcji CERN, a jego projekt został wpisany do programu „Physics Beyond Colliders” (Fizyka poza zderzaczami).

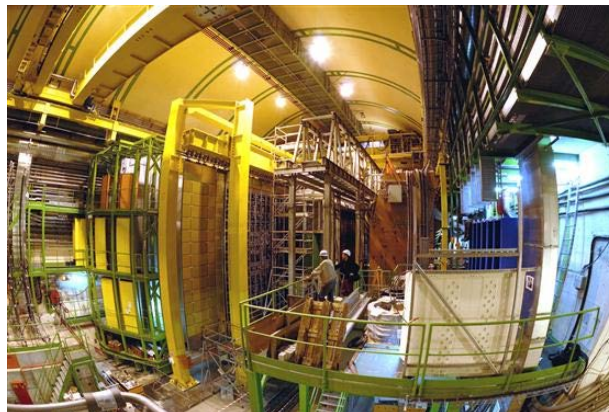
– „Ten eksperyment to zwieńczenie szeregu wcześniej przeprowadzonych testów” – powiedział prof. Witold Krasny – „Przewidywaliśmy, że tego typu wiązkę uda się utrzymać w LHC przez ok. 15 godzin. Ku naszemu zaskoczeniu, może to być nawet 40 godzin! Pozostaje pytanie, czy uda nam się utrzymać ten sam czas życia wiązki przy znacznie większej intensywności dzięki optymalizacji systemu kolimacji akceleratora”.

Wiadomość o udanym teście przyspieszania atomów ołowiu z jednym elektronem błyskawicznie rozeszła się w środowisku fizyków na całym świecie. Eksperyment uznano za ogromny sukces, wydarzenie wprost przełomowe. Wszelkimi sposobami komunikacji z różnych stron świata przesyłano pełne entuzjazmu gratulacje dla prof. Krasnego i jego zespołu.

– „Możecie mi wierzyć – to WIELKA rzecz! Moim skromnym zdaniem, to jedno z głównych osiągnięć naukowych w dziedzinie fizyki w tym roku!” – napisał prof. Dimitry Budker z Uniwersytetu Berkeley.

Mimo że jest to jeszcze bardzo daleko, lipcowe testy były ważnym pierwszym krokiem, aby zobaczyć, co jest możliwe.

Link do oryginalnego komunikatu CERN: <http://home.cern/about/updates/2018/07/lhc-accelerates-it-s-first-atoms>



Fot. 3. Detektor LHCb składa się z szeregu dużych podobnych do ściany detektorów. Wiązki protonowe zderzają się na jednym końcu hali eksperymentu, a detektor rejestruje cząstki wytwarzane w pobliżu osi wiązki. Eksperyment bada wytwarzanie i rozpady kwarków dolnych w poszukiwaniu rzadkich procesów „naruszających CP”. (fot. CERN)

Photo 3. The LHCb detector consists of a series of large wall-like sub-detectors. The proton beams will collide at one end of the experiment hall and the detector observes particles produced which travel close to the axis of the beam. This experiment observes the production and decays of bottom quarks to look for rare ‘CP violating’ processes

** Badanie anomalii rozpadu mezonów pięknych

Od 2011 r. fizycy z Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie pod kierunkiem prof. Mariusza Witka analizują dane z eksperymentu LHCb przy Wielkim Zderzaczu Hadronów dotyczących rzadkich rozpadów.

Badano *mezony piękne*¹ o spinie całkowitym. Mezony B (piękne) występują w wielu odmianach. Zawierają powszechny w naturze kwark dolny² (jeden ze składników protonów i neutronów) oraz antykwark piękny. Mezony te są układami nietrwałymi i szybko się rozpadają, na dodatek na wiele sposobów, które określa się jako kanały rozpadu. Jedną z anomalii względem Modelu Standardowego zaobserwowano w kanale rozpadu mezonu B na wzbudzony mezon dziwny oraz parę mion-antymion. Powodem obserwowanego efektu może być istnienie nowego bozonu pośredniczącego Z' (zet prim), zaangażowanego w rozpad mezonów B. Tłumaczy to także inny, nieco słabszy efekt, widoczny w niektórych rozpadach mezonów B przy pomiarze tzw. uniwersalności leptonowej.

Wkrótce po ogłoszeniu wyniku obliczeń krakowskich fizyków inne grupy przeprowadziły badania roz-

¹ **Mezony** – cząstki elementarne – bariony o spinach całkowitych należące do hadronów. Mezony zbudowane są z par kwark-antykwark, co jest związane z tym, że wypadkowy ładunek kolorowy cząstki musi być równy zeru (antykwark posiada antykolor kwarku).

² Kwarki – cząstki, z których zbudowane są nukleony. W Modelu Standardowym istnieje sześć rodzajów kwarków (dolne, górne, dziwne, powabne, piękne i prawdziwe) i sześć rodzajów leptonów (elektrony, miony, taony oraz powiązane z nimi neutrino), a także 12 odpowiadających im antycząstek.

padów mezonów i odchyłki od Modelu Standardowego zostały potwierdzone. Pytanie, co mogłoby być przyczyną zaobserwowanych anomalii.

– „Teoretycy zaczęli podejrzewać, że może pętla powabna coś tu miesza – mówi dr hab. Marcin Chrzęszcz (IFJ PAN oraz Universität Zürich, Switzerland) – wobec tego my policzyliśmy dokładniej te pętle”.

Chodziło o oddziaływania, które pierwotnie pominięto. W najnowszych obliczeniach został uwzględniony dodatkowy efekt: oddziaływania długo zasięgowe między produktami rozpadu mezonu, zwane pętlą powabną. Polegają one na tym, że produkty rozpadu z pewnym prawdopodobieństwem oddziałują między sobą, na przykład wymieniając gluony, czyli cząstkę odpowiedzialną za oddziaływania silne, spajające kwarki w protonach i neutronach.

– „Anomalie okazały się znaczące. Teraz wygląda, że efekty zmierzone pochodzą od czegoś nowego. Na samym końcu stwierdziliśmy, że warto przebadać sektor powabny. Tam podejrzewaliśmy, że nic nie znajdziemy, bo barion³ c jest lekki i wzbronienie GIM jest bardzo wysokie. Ten pomiar był zdecydowanie najmniej ciekawy z tych, które zrobiliśmy” – mówi dr Chrzęszcz.

W danych zebranych w międzynarodowym eksperymencie LHCb przy Wielkim Zderzaczu Hadronów

w Genewie zarejestrowano procesy rozpadu *barionu c* przebiegające w paru etapach (rezonansowo) oraz bardzo rzadkie rozpady nierezonansowe, zachodzące nie w kaskadzie, lecz w jednym kroku (nierezonansowo). Barion *Lambda c* rozpadał się na proton i mezon *omega*, ale zgodnie z przewidywaniami teoretycznymi. Nie były to więc sygnały świadczące o jeszcze innej ścieżce rozpadu rezonansowego, na proton i mezon *rho*, co mogłoby być zwiastunem „nowej fizyki”.

– „Uwzględnienie danych z kolejnego cyklu pracy LHC poprawi dokładność obliczeń o czynnik 10, ale szanse na znalezienie sygnałów innej ścieżki rozpadu barionu powabnego *Lambda c* są niewielkie” – mówi prof. Witek.

– „Wykryte anomalie rozpadu mezonów pięknych wcale nie znikają w kolejnych analizach. Teraz gdy udało się opracować opis teoretyczny tych procesów, wszystko zależy już tylko od statystyki, czyli od liczby przypadków poddanych obróbce. Prawdopodobnie w ciągu dwóch-trzech lat będziemy mieli ich wystarczająco wiele, by potwierdzić istnienie anomalii z wiarygodnością uprawniającą do mówienia o odkryciu” – mówi dr hab. Marcin Chrzęszcz.

Link do oryginalnej publikacji:

<http://doi.org/10.1140/epjc/s10052-018-5918-6>

dr Małgorzata Nowina-Konopka,
Instytut Fizyki Jądrowej
im. H. Niewodniczańskiego PAN,
Kraków



ERASMUS+ STAFF TEACHING MOBILITY IS ONE OF THE BEST WAY FOR KNOWLEDGE TRANSFER

From 27 August to 31 August, 2018, Prof. Suresh D. Pillai from Texas A&M University (USA) had visited Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT) within the framework of Erasmus+ project KA107 (nr. 2017-1-PL01-KA107-036224) staff teaching mobility. He had delivered three lectures in the workshop **“The emerging trends in the sludge treatment”**, which was held on August 27th, 2018.



Photo 1. Prof. Suresh D. Pillai from Texas A & M (USA) was delivering lecture on „Emerging pathogens in municipal sewage sludges and associated infections” (fot. Sylwester Wojtas)

The workshop was organized by INCT. It was financed by EU project H2020 “Accelerator Research and Innovation for European Science and Society”, task WP3 and Erasmus+ project KA107.



Photo 2. Prof. Chmielewski made a presentation concerning „Polish programme in the field of sludge treatment” (fot. Sylwester Wojtas)

Prof. A.G. Chmielewski, director of INCT welcomed all of the participants and introduced “the Polish programme in the field of sludge treatment” to the participants. Prof. Suresh D. Pillai, a main speaker of this workshop, had delivered three lectures on the topics of “Emerging pathogens in municipal sewage sludges and associated infections”, “Emerging trends in detection of microbial pathogens in raw and treated sewage” and “Beneficial reuse of sewage sludge”. Dr. Krzysztof Skowron from Nicolaus Copernicus University (Poland) presented “Microbiological and parasitological contamination of

sludge from biological wastewater treatment plant", Prof. Talis Juhna from Riga Technical University (Latvia) introduced "Microbe Analyses in Water and Solid Matrices", Mgr. Marcin Sudlitz from INCT presented "Polish and EU regulation of sludge treatment". About 30 persons in total participated in this workshop. They were from Poland, Great Britain, USA, Latvia and Iran. The category of the participants included universities staffs and PhD students (West Pomeranian University of Technology in Szczecin, Nicolaus Copernicus University, Texas A & M, The University of Huddersfield, Heavy Ion Laboratory Warsaw University, Amirkabir University of Technology and Riga Technical University), staffs from companies and institutions working on sewage treatment and sewage sludge usage (Biopolinex, Legnica Wastewater Treatment Plant, Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Puławy from Poland, and Riga Wastewater Treatment Plant from Latvia). And delegates from Association of Polish Electrical Engineers. The following issues were discussed during this workshop: biological threats connected with untreated sewage sludge use, methods of pathogenic bacteria and parasites detection, benefits emerging from fertilizers obtained from sewage sludge, law limits of heavy metal, bacteria and parasites eggs content in sludge for agricultural purposes and also sewage sludge treatment methods. This workshop was also a good initiation for preparation of Horizontal 2010 proposal "Production of High-Quality Organic Fertiliser using Electron Beams [in combination with membrane technologies]" which was chaired by Prof. Rob Edgecock from The University of Huddersfield (UK), at the end of the workshop, all participants were invited for on-site visit of ILU-6 accelerator and installations for flue gas treatment and irradiation of liquids in flow system located at INCT.

Yongxia Sun,

Institute of Nuclear Chemistry and Technology,
Warsaw



ERASMUS + PRACOWNICY
DYDAKTYCZNI MOBILNOŚCI
SĄ JEDNYM Z NAJLEPSZYCH
SPOSOBÓW TRANSFERU
WIEDZY

Współczesne trendy w obróbce osadów
pochodzących ze ścieków komunalnych

Od 27 do 31 sierpnia 2018 r. prof. Suresh D. Pillai z uniwersytetu A&M w Teksasie, USA odwiedził Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) w ramach projektu Erasmus+ KA107 (nr 2017-1-PL01-KA107-036224). Warsztaty p.t.: „Kształtujące się trendy w obróbce osadów” odbyły się 27 sierpnia 2018 r. Organizowane były przez IChTJ, a finansowane z projektu UE H2020 „Rozwój i innowacje w dziedzinie akceleratorów elektronów dla europejskiej nauki i społeczeństwa” (ang. „Accelerator Research and Innovation for European Science and Society”), zadanie WP3 oraz projektu Erasmus+ KA107. Prof. Andrzej G. Chmielewski powitał wszystkich uczestników spotkania oraz wygłosił wykład p.t.: „Polski

program w dziedzinie obróbki osadów” (ang. “The Polish programme in the field of sludge treatment”). Prof. Suresh D. Pillai, główny mówca podczas warsztatów, wygłosił następujące trzy referaty p.t.: „Pojawiające się w osadach ze ścieków komunalnych patogeny i związane z nimi infekcje” (ang. “Emerging pathogens in municipal sewage sludges and associated infections”), „Nowe trendy w wykrywaniu mikroorganizmów patogenicznych w surowym i przetworzonym osadzie ze ścieków komunalnych” (ang. “Emerging trends in detection of microbial pathogens in raw and treated sewage”) oraz „Pożyteczne ponowne wykorzystanie osadów ze ścieków komunalnych” (ang. “Beneficial reuse of sewage sludge”). Dr Krzysztof Skowron z Uniwersytetu Mikołaja Kopernika zaprezentował wykład p.t.: „Mikrobiologiczne i parazytologiczne skażenie osadów z biologicznych oczyszczalni ścieków” (ang. “Microbiological and parasitological contamination of sludge from biological wastewater treatment plant”), prof. Talis Juhna z Riga Technical University przedstawił referat: „Analiza mikroorganizmów w wodzie i matrycach stałych” (ang. “Microbe Analyses in Water and Solid Matrices”), mgr Marcin Sudlitz z IChTJ wygłosił prezentację p.t.: „Polskie i europejskie regulacje dotyczące obróbki osadów ściekowych” („Polish and EU regulation of sludge treatment”). W warsztatach uczestniczyło ok. 30 osób. Uczestnicy przyjechali z następujących krajów: Polski, Wielkiej Brytanii, USA, Łotwy oraz Iranu. Byli wśród nich zarówno profesorowie i doktoranci (Zachodniopomorski Uniwersytet w Szczecinie, Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Texas A & M, The University of Huddersfield, Środowiskowe Laboratorium Ciężkich Jonów, Amirkabir University of Technology and Riga Technical University) oraz członkowie przedsiębiorstw i instytucji zajmujących się przeróbką i stosowaniem osadów ze ścieków komunalnych (Biopolinex, Oczyszczalnia ścieków w Legnicy, Instytut Uprawy, Nawożenia i Gleboznawstwa w Puławach i Oczyszczalnia ścieków w Rydze). W spotkaniu uczestniczyli także delegaci ze Stowarzyszenia Elektryków Polskich. Podczas warsztatów poruszono następujące problemy: zagrożenia biologiczne związane z użyciem osadów ściekowych bez obróbki, metody wykrywania bakterii patogenicznych oraz pasożytów, korzyści płynące ze stosowania nawozów uzyskanych z obróbki osadów ściekowych, narzucone przez prawo limity dopuszczalnej w osadzie przeznaczonym do zastosowań rolniczych zawartości metali ciężkich, bakterii patogenicznych oraz jaj pasożytów, a także metody obróbki osadów ze ścieków komunalnych. Warsztaty te były także okazją do zainicjowania przygotowań do związanej z projektem Horizon 2020 propozycji projektu badawczego „Produkcja wysokiej jakości nawozów organicznych z wykorzystaniem wiązki elektronów [w połączeniu z technologiami membranowymi]” (ang. “Production of High-Quality Organic Fertiliser using Electron Beams [in combination with membrane technologies]”), którą przedstawił prof. Rob Edgecock z The University of Huddersfield (UK). Pod koniec warsztatów wszyscy uczestnicy zaproszeni zostali na prezentację zlokalizowanego na terenie IChTJ akceleratora ILU-6 oraz współpracujących z nim instalacji do napromieniowywania gazów spalinowych i przepływowego napromieniowywania cieczy.

Marcin Sudlitz,

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POSIEDZENIE PARLAMENTARNEGO ZESPOŁU DS. ENERGETYKI JĄDROWEJ Z UDZIAŁEM ORGANIZACJI SPOŁECZNYCH

Posiedzenie Parlamentarnego Zespołu ds. Energetyki Jądrowej odbyło się w dniu 2 lipca br. w gmachu Sejmu G w Sali nr 22. Uczestniczyli w niej oprócz zaproszonych posłów także przedstawiciele organizacji społecznych – Obywatelskiego Ruchu na Rzecz Energetyki Jądrowej, Stowarzyszenia Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej, Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Polskiego Towarzystwa Nukleonowego, Komitetu „Tak dla atomu w gminie Choczewo”. Było to kolejne już szóste spotkanie Zespołu z organizacjami pozarządowymi. Większość spotkań zorganizowano z inicjatywy organizacji społecznych.

Posiedzenie otworzył poseł Jan Klawiter, obecny przewodniczący Zespołu. Następnie głos zabrał Jerzy Lipka (Obywatelski Ruch na Rzecz Energetyki Jądrowej) podkreślając wagę spotkania i jego znaczenie jako przygotowania do spotkania posłów i delegacji organizacji społecznych z premierem Mateuszem Morawieckim. Celem spotkania byłoby omówienie realizacji Polskiego Programu Energetyki Jądrowej i uzyskanie odpowiedzi w sprawie terminu rozpoczęcia budowy pierwszego bloku energetycznego. W trakcie dyskusji zaproponowano, by w razie trudności organizacji spotkania posłowie z Parlamentarnego Zespołu ds. Energetyki Jądrowej przygotowali interpelację w sprawie terminu rozpoczęcia.



Fot 1. Parlamentarny Zespół ds. Energetyki Jądrowej (fot. Sejm.pl)

Na prośbę przewodniczącego, przedstawiciel Ministerstwa Energii dyrektor Departamentu Energii Jądrowej. Józef Sobolewski omówił krótko starania departamentu o uzyskanie decyzji rozpoczęcia budowy elektrowni jądrowej, podkreślając gotowość Ministerstwa do realizacji programu jądrowego. Następnie przedstawione zostały referaty:

- dr. Jerzego Majchera – na temat ekonomicznych aspektów i finansowania budowy elektrowni jądrowej mechanizmami działania rynku mocy i tzw. mechanizmu różnicowego w finansowaniu elektrowni jądrowych, jak też innych rodzajów energetyki, oraz
- prof. dr. Andrzeja Strupczewskiego na temat bezpieczeństwa reaktorów III generacji uwypuklając zalety pasywnych systemów bezpieczeństwa działających na zasadzie praw fizyki.

W czasie dyskusji uczestnicy spotkania podkreślali, że brak decyzji o rozpoczęciu budowy elektrowni jądrowej powoduje niepotrzebną stratę czasu powodującą, utratę kształconej kadry technicznej, zahamowanie postępu technologicznego oraz np. podniesienie kosztów budowy elektrowni, ze względu na rozpoczynający się światowy boom inwestycyjny w przemyśle jądrowym (kraje arabskie, RPA, USA, oraz kraje Azji). Najlepszy czas na rozpoczęcie inwestycji jest teraz właśnie, dokąd firmy mają jeszcze wolne moce wytwórcze.

Nawiązując do referatu o bezpieczeństwie jądrowym, zwrócono uwagę na problemy kadrowe i grożący zanik kompetencji w Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), organu odpowiedzialnego za bezpieczeństwo jądrowe w państwie i wydawanie licencji bezpieczeństwa powstającym obiektom jądrowym. Niedocenianie zagadnień związanych z bezpieczeństwem jądrowym sugeruje brak zainteresowania rozwojem energetyki jądrowej.

Kolejnym zagadnieniem jest trudna sytuacja energetyczna wybrzeża, gdzie rozwija się przemysł, a brakuje energii i tylko 40% zużywanej tu energii produkowane jest na miejscu. O przyspieszenie decyzji o budowie zaapelował reprezentant mieszkańców Pomorza z komitetu „TAK dla atomu” w gminie Choczewo. Społeczeństwo Choczewa jest już mocno zniescierpliwione czekaniem na właściwe decyzje.

Zwrócono uwagę na ukazującą się co jakiś czas w prasie opinię, że budowa jednej dużej elektrowni jest nieekonomiczna i niepotrzebna. Zapotrzebowanie na energię mogą zapewnić małe reaktory modularne, znacznie tańsze i zaspokajające lokalne potrzeby dużych aglomeracji.

Wypowiedzi te zostały częściowo poparte przez dyr. Departamentu Energii Jądrowej J. Sobolewskiego, który zwrócił uwagę na zmniejszenie zainteresowania Westinghouse oraz EdF budową elektrowni jądrowej w Polsce ze względu na znaczne zaangażowanie w Indiach (budowa elektrowni). Ponadto wyjaśnił, że PAA została znacznie wzmocniona kadrowo i przeprowadzane jest szkolenie w zakresie technik reaktorowych w NCBJ w Świerku. Dyr. J. Sobolewski poinformował zebranych, że w światowych ośrodkach naukowych koncepcja budowy małych reaktorów energetycznych jest dopiero na etapie wstępnych propozycji teoretycznych i ich ewentualne pojawienie się na rynkach oczekiwane jest w drugiej połowie stulecia. Ministerstwo Energetyki nie rozważa możliwości ich wykorzystania.

W odpowiedzi na wątpliwości przeciwnika energetyki jądrowej dotyczące sposobu finansowania budowy elektrowni jądrowej i elektrowni wykorzystujących źródła odnawialne dr Jerzy Majher, pokazał na przykładzie szwedzkim, jak w praktyce działa rynek energii, kiedy wraz ze wzrostem zapotrzebowania kolejne typy elektrowni wchodziły do gry, najtańsze wodne, następnie jądrowe, dopiero potem ciepłowne. Stwierdził też, że polski przemysł ma kompetencje, by uczestniczyć w procesie budowy EJ, przynajmniej w 30%. Poza reaktorem wszystkie pozostałe elementy mogą być wykonane przez przemysł krajowy. Nasze firmy mają kompetencje zdobywane za granicą.

Pani poseł Jolanta Hibner zakwestionowała cel spotkania, wręczając wątpliwość, że w chwili obecnej trudno będzie oczekiwać jednoznacznej decyzji w sprawie budowy elektrowni jądrowej z racji zbliżających się kolejnych wyborów. Wydaje się, że racje polityczne przedkładane są ponad interes państwa i polską rację stanu.

Dyrektor Józef Sobolewski stwierdził, że Polska już stała się importerem energii elektrycznej i dalsza zwłoka spowoduje wręcz stopniową utratę suwerenności energetycznej (masowy import gazu do wsparcia OZE), a w konsekwencji utratę przez nasze państwo suwerenności politycznej.

Ostatecznie uznano, że cel spotkania powinien być zrealizowany jak najszybciej. Przewodniczący zapewnił zebranych, że Parlamentarny Zespół ds. Energetyki Jądrowej podejmie niezwłocznie odpowiednie działania.

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

http://www.sejm.gov.pl/sejm8.nsf/transmisje_arch.xsp?u-nid=B928B8336019B17EC12582B8003FCD83



ZAKOPANE CONFERENCE ON NUCLEAR PHYSICS - „EXTREMES OF THE NUCLEAR LANDSCAPE” - 53.

W dniach 26.08 - 2.09. 2018 r., odbyła się konferencja pt. Zakopane Conference on Nuclear Physics - „Extremes of the Nuclear Landscape” - 53. z serii Zakopiańskich Szkół Fizyki, zorganizowana przez Instytut Fizyki jądrowej PAN we współpracy z Fundacją Akademii Górniczo-Hutniczej - AGH.

Tematyka konferencji dotyczyła najnowszych osiągnięć fizyki jądrowej niskich energii — od nowych koncepcji w teorii jądra atomowego, przez rozwój systemów do akceleracji wiązek stabilnych i radioaktywnych jonów oraz aparatury do detekcji promieniowania, po najnowsze wyniki eksperymentalne w dziedzinie badań struktury niestabilnych jąder atomowych. Wiele uwagi poświęcono również dyskusji nad zastosowaniem wyników badań jądrowych w astrofizyce, produkcji i magazynowaniu energii elektrycznej oraz w medycynie. Program naukowy konferencji przygotowano we współpracy z kolegium konwenerów, w skład którego wchodziłi uznani naukowcy profesorowie: Nicolas Alamanos, Adam Maj, Witold Nazarewicz, Johan Nyberg, John Sharpey-Schafer, Sydney Gales, Krystyna Siwek-Wilczyńska i Philip Walker. Mieli oni wpływ na ostateczny kształt sesji tematycznych poprzez wybór wykładowców — na zaproszenie odpowiedziało przeszło czterdziestu światowej sławy uczonych oraz selekcję krótkich wystąpień spośród licznie nadesłanych streszczeń.



Fot. 1. Zakopane Conference on Nuclear Physics - Extremes of the Nuclear Landscape (fot. Jacek Wrzesiński - IFJ PAN)

W konferencji uczestniczyło blisko dwustu fizyków z całego świata, w tym wielu adeptów fizyki jądrowej — doktorantów i stażystów postdoc. Wygłoszono przeszło sto referatów. W konkursie na najlepszy plakat, z grona trzydziestu autorów międzynarodowe jury wyłoniło pięciu laureatów, którym wręczono nagrody ufundowane przez NUPECC (The Nuclear Physics European Collaboration Committee).

Uczestnikom konferencji zaproponowano atrakcyjny program socjalny: spacer po szlakach Tatrzańskiego Parku Narodowego, wycieczkę krajoznawczą po Spiszu i Pieninach, kolację regionalną z występami zespołu góralskiego. Szczególnym wydarzeniem był uroczysty koncert organowy z elementami muzyki progresywnej w wykonaniu Józefa Skrzeka, z prapremierą jego utworu pt. „Children of the Stars”, inspirowanego fizyką jądrową i procesami ewolucji Wszechświata.

Komitet Organizacyjny: Piotr Bednarczyk, Maria Kmiecik, Katarzyna Mazurek.

Szczegóły programu dostępne są na stronie internetowej: <https://zakopane2018.ifj.edu.pl>

*Piotr Bednarczyk,
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN,
Kraków*



53. SZKOŁA FIZYKI JĄDROWEJ W ZAKOPANEM

W dniach od 26 do 2 września 2018 br. odbywała się w Zakopanem konferencja na temat fizyki jądrowej zwana ze względów historycznych Szkołą Fizyki Jądrowej. W 1963 r., czyli 55 lat temu z inicjatywy prof. Andrzeja Hrynkiwicz pracownicy Instytutu Fizyki Jądrowej i Instytutu Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego zorganizowali w Zakopanem Pierwszą Szkołę Fizyki Jądrowej. Odtąd „szkoły” organizowano regularnie co roku. Szybko rosła liczba uczestników. Z biegiem lat wykrystalizowały się dwie gałęzie rozwijanych badań: struktura jądra i fizyka jądrowa niskich energii. W konsekwencji postanowiono poszczególne tematy realizować na konferencjach zakopiańskich na przemian co dwa lata.

W tym roku konferencję zorganizował Instytut Fizyki Jądrowej PAN im. Henryka Niewodniczańskiego i Fundacja dla AGH. Współfinansowała ją Polska Akademia Nauk, a wspierały: NuPPEC (The Nuclear Physics European Collaboration Committee) i CAEN Tools for Discovery. W skład Komitetu Organizacyjnego wchodziłi: dr hab. Piotr Bednarczyk (przewodniczący), dr hab. Maria Kmiecik (vice-przewodniczący), dr hab. Katarzyna Mazurek (sekretarz naukowy) oraz 12 członków (wszyscy z IFJ PAN).

Zaproszone referaty (Invited papers), wystąpienia seminaryjne i plakaty uszeregowano w cykle tematyczne ze względu na energię widm (od nisko położonych stanów modelu powłokowego do kolektywnych wzbudzeń w ekstremalnych spinach i temperaturach), na masę jądra (od lekkich do super ciężkich), na budowę jąder (od egzotycznych kropkowych jąder protonowych do bardzo bogatych w neutrony układów jądrowych). Najnowsze pomysły i postępy w teorii jądrowej były tematem plenarnej sesji. Przedstawione zostały nowe eksperymentalne metody i aparatura opracowana i stosowana dla stabilnych i promieniotwórczych wiązek jonowych. Omówiono rolę dzisiejszych badań nad strukturą jądrową w zrozumieniu procesów astrofizycznych i pochodzenia pierwiastków.

Program naukowy Konferencji składał się z ośmiu sesji tematycznych prowadzonych przez chairmanów. Tytuły sesji i nazwiska prowadzących były następujące:

- **Interdisciplinary Applications on Nuclear Physics** (*Interdyscyplinarne zastosowania w fizyce jądrowej*), Nicolas Alamanos (CEA, Saclay)
- **Collective Modes in Nuclei** (*Mody kolektywne w jądrach*), Adam Maj (IFJ PAN, Kraków)
- **Forefront Topics in Nuclear Theory**, (*Gorące tematy w teorii jądrowej*) Witold Nazarewicz (MSU, East Lansing)
- **New Instrumentation and Techniques in Nuclear Spectroscopy** (*Nowe instrumenty i techniki w spektroskopii jądrowej*), Johan Nyberg (Univ. Uppsala)
- **Nuclear Rotation and High Spins** (*Rotacja jądrowa i wysokie spiny*), John Sharpey-Schafer, (UWC, Cape Town)
- **New Facilities for Nuclear Physics Research** (*Nowe urządzenia do badań w fizyce jądrowej*), Sydney Gales (IPNO, Orsay)
- **Heavy nuclei – production mechanism and properties** (*Ciężkie jądra – mechanizm produkcji i własności*) Krystyna Siwek-Wilczyńska (Univ. Warsaw)
- **Nuclear Isomerism** (*Izomeria jądrowa*), Phil Walker (Univ. Surrey)

Dodatkowy czas został przeznaczony na raporty dotyczące najnowszych osiągnięć w szerokim polu badań jądrowych. Każda sesja zawierała kilka referatów (czas trwania od 20 do 30 minut) oraz krótkie prezentacje (czas trwania 15 minut). Tematy wykładów na seminaria i plakaty zostały wybrane spośród nadesłanych streszczeń przez komisję selekcyjną składającą się z uczestników poprzednich konferencji.

Konferencja rozpoczęła się od prezentacji Gianlucii Colo (INFN i Uniwersytet Mediolański) na temat wyzwań teorii jądrowej i Marka Lewitowicza (GANIL) na temat eksperymentalnych badań jądrowych. Na zakończenie Ewa Gudowska-Nowak z Uniwersytetu Jagiellońskiego wygłosiła wykład przybliżający sylwetkę wizjonera i wielkiego polskiego fizyka Mariana Smoluchowskiego oraz jego wkład w nowoczesną naukę.

Jak nakazuje tradycja, atmosfera obrad była serdeczna i przyjacielska. Społeczność „jądrowców” od początku stanowi wielką rodzinę, której członkowie współpracują w zgodzie i zdrowej rywalizacji. Polscy fizycy pracujący w największych ośrodkach europejskich (i nie tylko) utrzymują serdeczny kontakt z fizykami z Krakowa i chętnie przejeżdżają na zakopiańskie szkoły.

Hitem obrad był referat prof. Jerzego Dudka pt. „Nuclear Tetrahedral and Octahedral Symmetries: The Newest Experimental Evidence and Implications for Exotic-Nuclei Research-Programs” (Tetraedra i oktaedra symetria w jądrach atomowych: najnowsza ewidencja doświadczalna i implikacje dla programów badań jąder egzotycznych). Prof. Dudek jest absolwentem Uniwersytetu Jagiellońskiego i Profesorem Honorowym Uniwersytetu Marii Curie Skłodowskiej w Lublinie; od wielu lat pracuje w CNRS w Strasburgu. Utrzymuje żywe kontakty z polskimi ośrodkami. Referowana prezentacja jest wynikiem współpracy z fizykami z Krakowa – Katarzyną Mazurek – i z Lublina – Irene Dedes, a także ze Strasburga, z Japonii i Indii. Dotyczy wykrycia tzw. symetrii wysokiej rangi (high-rank symmetries) w fizyce jądrowej, która decyduje o stabilności jąder.

Konferencję zakończył uroczysty bankiet przewidziany do późnych godzin nocnych. Szczegóły na stronie Konferencji zakopiańskiej: <https://zakopane2018.ifj.edu.pl>

dr Małgorzata Nowina-Konopka,
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN,
Kraków



BADANIA NAD ZAPOMNIANYM PASMEM

W Warszawie powstaną dwa nowe międzynarodowe centra naukowe, które zajmować się będą: badaniami promieniowań elektromagnetycznych z zapomnianego pasma terahercowego oraz złożonymi mechanizmami plastyczności ludzkiego mózgu. Oba powstaną dzięki środkom w programie Międzynarodowe Agendy Badawczej (MAB) Fundacji na rzecz Nauki Polskiej.

Nad „zapomnianym pasmem” czy inaczej „luką terahercową” pracować będą polscy fizycy pod kierunkiem profesorów: Wojciecha Knapa i Thomasa Skotnickiego z Instytutu Wysokich Ciśnień PAN. Zagranicznymi partnerami ośrodka będą: Uniwersytet Goethego we Frankfurcie oraz CNRS: Instytut Elektroniki, Mikroelektroniki i Nanotechnologii w Lille. Promieniowanie terahercowe jest promieniowaniem elektromagnetycznym o częstościach oscylacji rzędu 10^{12} Hz. Pasma to, mimo że jest znane od dawna, jak dotychczas nie jest praktycznie wykorzystywane przez człowieka na szeroką skalę. Luka terahercowa kryje w sobie niezmiernie możliwości eksploracji, zarówno na polu naukowym, jak i gospodarczym. W przeciwieństwie do promieniowania rentgenowskiego i ultrafioletowego, fale THz nie są szkodliwe dla ludzi ani zwierząt. Dla fal THz autorzy projektu przewidują szereg ciekawych zastosowań, m.in. w komunikacji, przemyśle, rolnictwie i handlu.

Drugi z projektów nazwano BRAINCITY, czyli centrum doskonałości w zakresie neuroplastyczności i chorób mózgu. Nowy ośrodek powstanie we współpracy z warszawskim Instytutem Nenckiego PAN. Pokierują nim prof. dr hab. Leszek Kaczmarek i dr hab. Ewelina Knapska. Założyciele BRAINCITY postawili sobie za cel zrozumienie i wykorzystanie złożonej plastyczności ludzkiego mózgu w celu zwalczania chorób. Wiedza w zakresie neurobiologii, funkcjonowania i dysfunkcji mózgu wzrasta w ostatnich latach w niebywałym tempie. Wszystkie te znamienne osiągnięcia technologiczne i metodologiczne zostaną wykorzystane w projekcie. Celem nadrzędnym będzie wypracowanie nowych rozwiązań poprawiających profilaktykę, diagnostykę, monitorowanie oraz leczenie chorób i patologii związanych z plastycznością mózgu. Międzynarodowym partnerem strategicznym przedsięwzięcia będzie Europejskie Laboratorium Biologii Molekularnej (EMBL). To ogromne wyzwanie badawcze będzie możliwe do zrealizowania dzięki ścisłej współpracy środowisk badawczych, specjalizujących się w różnych klinicznych i przemysłowych dziedzinach nauki. Projekt BRAINCITY otrzymał dofinansowanie w wysokości ponad 39 mln zł na okres pięciu lat.

Program Międzynarodowe Agendy Badawczej (MAB) jest realizowany przez FNP od listopada 2015 r. ze środków pochodzących z Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój (PO IR). Program ma umożliwić powstanie w Polsce wyspecjalizowanych ośrodków naukowych, prowadzących konkurencyjne w skali światowej badania naukowe.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



STYPENDIA START 2018 WRĘCZONE

26 maja br. na Zamku Królewskim w Warszawie uroczyście wręczono stypendia 100 najzdolniejszym młodym polskim naukowcom, laureatom 26. Konkursu START

Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. START jest największym w Polsce programem stypendialnym dla najlepszych badaczy przed trzydziestką reprezentujących wszystkie dziedziny nauki. Grono laureatów wszystkich konkursów, łącznie z tegorocznym, liczy już ponad 2900 osób. Stypendia, które można przeznaczyć na dowolny cel, mają wesprzeć finansowo młodych naukowców w trudnych początkach kariery badawczej i umożliwić im pełne poświęcenie się nauce. Ideę programu najlepiej przedstawił prof. Maciej Żylicz, prezes Fundacji na rzecz Nauki Polskiej cyt. *„Stypendia START kierujemy do osób, które są na kluczowym etapie życia, kiedy podejmują decyzję o kontynuacji bądź porzuceniu pracy badawczej. Dzięki stypendium mogą skoncentrować się na pracy naukowej, a jednocześnie zadbać o „start” życiowy – dom, rodzinę, zdrowie i edukację dzieci. Ale nie chodzi jedynie o godne wynagrodzenie, chodzi także o motywację, danie młodym ludziom szansy i możliwości samorealizacji. Przyznając stypendia START, pokazujemy, że*

to, co robią młodzi naukowcy, jest dla nas ważne i potrzebne, że widzimy sens w ich wyęźnionej pracy”. Otwierając uroczystości prof. Maciej Żylicz, wspominał o prof. Adamie Sobiczewskim, który żyjąc bardzo skromnie, na fundusz stypendialny przekazał milion złotych. Od 24. edycji programu START stypendia wybranych laureatów z dziedziny fizyki teoretycznej, matematyki i astronomii są podwyższone dzięki tej dotacji. W tym roku stypendia prof. Adama Sobiczewskiego nie zostały przyznane. Laureaci tegorocznej edycji konkursu zostali wyłonieni spośród 890 kandydatów. Średni wiek laureatów wynosi 28 lat, a 48% nagrodzonych posiada stopień doktora (w Polsce przeciętny wiek uzyskiwania doktoratu to ok. 35 lat). Od 2009 r. Fundacja przyznaje również wyróżnienia kandydatom, których osiągnięcia badawcze zostały najwyżej ocenione przez recenzentów konkursu. Podstawowym kryterium przyznawania wyróżnienia jest wyjątkowo wysoka jakość dorobku naukowego kandydata, uznana za wybitną.



Fot. 1. Stypendyści programu START podczas uroczystości wręczenia dyplomów (fot. One HD)

W tym roku wyróżnienia otrzymało dwóch laureatów. Stypendia tych osób wyniosą 36 tys. zł i zostaną w całości sfinansowane ze środków uzyskanych przez FNP z wpłat 1% podatku dochodowego od osób fizycznych. W 2018 r. wyróżnienia otrzymali: mgr Przemysław Mróz z Obserwatorium Astronomicznego Uniwersytetu Warszawskiego oraz dr inż. Michał Winiarski z Wydziału Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Gdańskiej. W ramach programu START przyznawane jest również Stypendium im. Barbary Skargi. Może je otrzymać osoba, której badania wyróżniają się odważnym przekraczaniem granic pomiędzy różnymi dziedzinami nauki, otwierają nowe perspektywy badawcze i tworzą nowe wartości w nauce. Tegoroczną laureatką Stypendium została mgr Karolina Finc z Interdyscyplinarnego Centrum Nowoczesnych Technologii Uniwersytetu Mikołaja Kopernika w Toruniu. Jej badania dotyczą plastyczności mózgu. W szczególności interesuje ją to, w jaki sposób funkcjonuje mózg w trakcie procesów poznawczych i uczenia się procesów. Na koniec trochę statystyki. Wśród laureatów znalazło się 65 mężczyzn i 35 kobiet. Stopień doktora ma 48% laureatów; w tym 20 kobiet i 28 mężczyzn. Dziedziny najczęściej reprezentowane przez laureatów to: nauki humanistyczne i społeczne (21 stypendiów); nauki techniczne (19 stypendiów); nauki chemiczne (13 stypendiów); nauki biologiczne (12 stypendiów); nauki medyczne (9 stypendiów); nauki fizyczne (8 stypendiów); nauki prawne (5 stypendiów). Instytucje, z których pochodzi największa liczba stypendystów: Uniwersytet Warszawski i Uniwersytet Jagielloński

(po 15 stypendystów), Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu (10 stypendystów) oraz Politechnika Warszawska i Politechnika Wrocławska (po 5 stypendystów). Najwięcej stypendystów rekrutuje się z takich miast jak: Warszawa (38 stypendystów), Kraków (22 stypendystów), Poznań (14 stypendystów). Placówki naukowe, z którymi najczęściej związani są stypendyści, to: uczelnie (80, z czego 20 to politechniki) oraz instytuty PAN (16).

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



KONFERENCJA SIOR W KIELCACH

W dniach od 20 do 23 czerwca br. odbyła się w Kielcach XXI Konferencja Inspektorów Ochrony Radiologicznej (SIOR). W tym roku hasłem przewodnim spotkania była „Ochrona radiologiczna w diagnostyce medycznej i przemysłowej”. Inspektorzy byli gośćmi Świętokrzyskiego Centrum Onkologii (ŚCO), których w imieniu gospodarzy przywitał prof. dr hab. n. med. Stanisław Góźdz. Ważnym punktem cyklicznych konferencji jest wykład Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki. W ramach dyskusji Inspektorzy Ochro-

ny Radiologicznej (IOR) mają wówczas okazję przedstawić swoje problemy i otrzymać odpowiedzi na nurtujące ich pytania. W tym roku PAA reprezentowała Pani Monika Skotniczna. Wygłosiła wykłady na temat: „Zmian w Prawie atomowym wdrażających dyrektywę BSS” oraz „Bieżącej współpracy inspektorów ochrony radiologicznej z PAA”. Zwróciła uwagę, że Dyrektywa ustanawiająca podstawowe normy bezpieczeństwa, zwana dyrektywą BSS, dokonuje poprzez swe postanowienia rozróżnienia na narażenie medyczne (w celach diagnostycznych lub terapeutycznych) oraz narażenie niemedyczne (obrazowanie w celach niemedycznych, narażenie niezwiązane z odniesieniem korzyści zdrowotnych). Zastępuje ona Zalecenia Komisji nr 90/143 w sprawie ochrony ludności przed narażeniem od radonu wewnątrz pomieszczeń oraz pięć obowiązujących dyrektyw: Dyrektywę Rady 96/29, 97/43, 89/618, 90/641 oraz 2003/122. Postanowienia tej Dyrektywy wprowadzają podział zgodny z zaleceniami ICRP na sytuacje narażenia planowanego, istniejącego oraz wyjątkowego. Termin implementacji Dyrektywy upłynął 6 lutego 2018 r. Polska obecnie jedynie częściowo wprowadziła ją w życie i pod tym względem jest wśród 15 innych krajów Europy. W pełni dyrektywę wdrożyły 4 kraje. Obecnie projekt ustawy dostosowującej Prawo atomowe w Polsce do wymogów dyrektywy BSS, jest przedmiotem obrad Rady Ministrów. Planowane jest wejście w życie ustawy pod koniec tego roku. Kolejnym punktem programu spotkania było podpisanie umowy o współpracy między SIOR i Polskim Towarzystwem Nukleonicznym (PTN).



Fot. 1. Wojciech Głuszewski podczas wykładu na konferencji SIOR (fot. Świętokrzyskie Centrum Onkologii)

Główne założenia umowy przedstawił Wojciech Głuszewski członek Zarządu Głównego PTN. Obie Strony deklarują wolę umacniania przyjacielskiej współpracy dla realizacji przywołanych w preambule zadań, przy zachowaniu całkowitej wzajemnej autonomii. Następnie wykład wygłosił Grzegorz Guzik z Samodzielnego Laboratorium Identyfikacji Napromieniowania Żywności, które działa w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej. Jest to Laboratorium Referencyjne przy Ministrze Zdrowia. Prelegent krótko opowiedział, co na podstawie wieloletnich badań wiemy o napromieniowanej żywności. Słuchacze dowiedzieli się, jak wykrywa się obecnie napromieniowanie żywności (metody fizyczne, chemiczne, biologiczne). W kolejnym wykładzie Artur Szczodry ze Świętokrzyskiego Centrum Onkologii w Kielcach omówił sposób organizacji pracy Oddziału Terapii Izotopowej Kliniki Endokrynologii ŚCO, który prowadzi terapię radioizotopową w warunkach ambulatoryjnych, jak i w trybie hospitalizacji. Dariusz Chruściak z Pracowni Ochrony Radiologicznej ŚCO w Kielcach opowiedział o postępowaniu ze ściekami promieniotwórczymi w odstojnikach, które stanowią integralną część Działu Medycyny Nuklearnej. W tym konkretnym przypadku jest to system zbiorników retencyjnych składający

się z 12 betonowych komór o pojemności około 3 m³ każda. Odstojniki mają automatyczny system sterowania pracy poszczególnych komór. Organizatorzy oprowadzili uczestników po Zakładach Medycyny Nuklearnej szpitala. Drugiego dnia Jerzy Zandberg ze Stowarzyszenia Inspektorów Ochrony Radiologicznej omówił temat ciekłych odpadów promieniotwórczych i przedstawił wpływ pytań z tej dziedziny na wynik egzaminu na przedłużenie uprawnień inspektorskich IOR-1 i IOR-3. W następnym wystąpieniu Piotr Kasprzyci zaprezentował firmę Irtech Sp. z o.o. z Krakowa. Jest ona dystrybutorem w Polsce produktów: Thermo Scientific, Ortec, Hidex, LabLogic, Durrig, Nuvia i dostarcza urządzenia lub realizuje kompleksowe projekty z zakresu pomiarów i ochrony radiacyjnej. Wojciech Belcarz i Tomasz Radkiewicz z NDT Sp. z o.o. w Warszawie przeprowadzili połowe ćwiczenia awaryjnego postępowania w przypadku zablokowania, wypięcia źródła. Wojciech Głuszewski z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie przybliżył nowe inicjatywy Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA/IAEA) w dziedzinie harmonizacji nieniszczących badań (NDT), szkoleń i certyfikacji dla inżynierii jądrowej i dziedzictwa kulturowego. Odbyło się również Walne Zebranie Członków SIOR. Zgromadzenie zatwierdziło sprawozdanie złożone przez Zarząd SIOR. Kolejne spotkanie za rok.

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



STREFA ZERO W RADIU TOK FM

W niedzielę, 22 lipca br., dr Marek Rabiński z Narodowego Centrum Badań Jądrowych i Paweł Mielczarek ze Strefy Zero byli gośćmi programu „Podróże małe i duże” w radiu TOK FM. Wraz z prowadzącym audycję Przemysławem Iwańczykiem rozmawiali o podróżach do Czarnobylskiej Strefy Wykluczenia.

<https://licznikeigera.pl/strefa-zero-w-radiu-tok-fm/>



POLSKO-KOREAŃSKIE FORUM JĄDROWE – ROZMOWY BIZNESOWE O WSPÓŁPRACY W SEKTORZE NUKLEARNYM

Warszawa, 20 września 2018 r.

20 września br. w Warszawie odbyło się Polsko-Koreańskie Forum Jądrowe. Przedstawiciele administracji rządowej i biznesu obu państw dyskutowali na temat potencjalnej współpracy przy projektach jądrowych, zarówno w Polsce jak i zagranicą. Forum, zainicjowane przez Korea Hydro & Nuclear Power, trzeciego na świecie właściciela i operatora elektrowni jądrowych, dało możliwość zaprezentowania technologii i wymiany doświadczeń również firmom z sektorów energetyki i budownictwa z Polski i Republiki Korei.

Forum objęła swoim patronatem Ambasada Republiki Korei w Polsce. „Szczególnie od października 2013 r., kiedy dwoje naszych prezydentów zadeklarowało partnerstwo strategiczne, Polska i Korea są zobowiązane do wspólnego poszukiwania istotnych obszarów wzajemnie korzystnej współpracy. Biorąc pod uwagę redukcję emisji CO₂, jak również bezpieczeństwo energetyczne, polski rząd aktywnie planuje nowy projekt budowy elektrowni jądrowej. Jako strategiczny partner Polski, Republika Korei jest gotowa wziąć udział w projekcie polskiej elektrowni jądrowej, na zasadzie obopólnych korzyści”, powiedział Sung-Joo Choi, Ambasador Republiki Korei w Polsce.



Fot. 1. Obrady Polsko-Koreańskiego Forum Jądrowego

„Realizując projekt jądrowy polski rząd od samego początku przywiązuje wagę do możliwie dużego zaangażowania krajowego przemysłu, począwszy od etapu projektowania, poprzez sam etap budowy elektrowni, jej eksploatację i serwisowanie. Najwyższe wymagania i standardy obowiązujące w sektorze jądrowym pozytywnie wpłyną na rozwój sektora energetycznego w Polsce”, powiedział Zbigniew Kubacki, z-ca dyr. Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Energii.

„W realizacji projektu jądrowego upatrujemy również możliwości transferu technologii i podniesienia kompetencji, które będą mogły być wykorzystane w innych zaawansowanych branżach. Pragniemy zainteresować naszych koreańskich partnerów lokowaniem jądrowych inwestycji produkcyjnych w Polsce z perspektywą eksportu na rynki europejskie. Możemy doskonale połączyć polskie i koreańskie doświadczenie i kompetencje”, powiedział podczas wystąpienia na Forum Andrzej Sidło, główny specjalista w Departamencie Energii Jądrowej w Ministerstwie Energii.

Republika Korei od 2009 r. eksportuje swoje cywilne technologie jądrowe. Pierwszą umowę na realizację inwestycji zawarła ze Zjednoczonymi Emiratami Arabskimi. Kontrakt objął wówczas budowę 4 bloków elektrowni jądrowej o mocy 5 600 MWe. „W latach siedemdziesiątych zakupiliśmy zagraniczne technologie jądrowe i od tego czasu nieprzerwanie inwestujemy w nie i je rozwijamy. KHNP włożyło ogrom pracy w stworzenie koreańskiego reaktora APR1400, który zakupiły ZEA. Obecnie z powodzeniem konkurujemy na rynkach międzynarodowych oferując zagranicznym partnerom nasze technologie. Właśnie na tym obszarze skupiamy nasze wysiłki. Prowadzimy rozmowy nt. budowy elektrowni jądrowych między innymi z Polską, Czechami i Arabią Saudyjską”, powiedział Jae-hoon Chung, Prezes KHNP.

Koreańskie firmy, takie jak KHNP, KEPCO E&C, KEPCO NF, KEPCO KPS, Doosan i Daewoo wzięły udział w Forum, aby rozmawiać z polskim biznesem. W wydarzeniu uczestniczyło również ponad 70 polskich firm zainteresowanych współpracą pomiędzy obydwojema krajami.

KHNP ma ponad 40 lat doświadczenia i jest solidnym i zaufanym dostawcą technologii nuklearnych, wspieranym przez rząd Korei. Obecnie zarządza 24 blokami jądrowymi w Republice Korei oraz buduje 5 kolejnych jednostek w kra-

ju i 4 w Zjednoczonych Emiratach Arabskich. Budowa bloków w ZAE postępuje zgodnie z planem, co wyróżnia inwestycję na tle innych przedsięwzięć ze szczególnie narażonej na opóźnienia branży energetycznej. Firma koncentruje się na eksporcie technologii. W listopadzie 2017 r. reaktorowi nowej generacji APR1400 KHNP przyznano certyfikat European Utility Requirements (EUR). W efekcie firma ma pełne prawo zaopatrywać rynek europejski w energię zgodnie z lokalnymi normami.

Polsko-Koreańskie Forum Jądrowe zorganizowali: firma Korea Hydro & Nuclear Power, Koreańska Agencja Promocji Handlu i Inwestycji (KOTRA) oraz Koreańskie Stowarzyszenie Jądrowe na rzecz Współpracy Międzynarodowej (KNA) we współpracy z Ministerstwem Energii RP oraz Ambasadą Korei w Polsce.

Jaeyong Kwak,
Korea Hydro & Nuclear Power,
jaeyong.k@khnp.co.kr



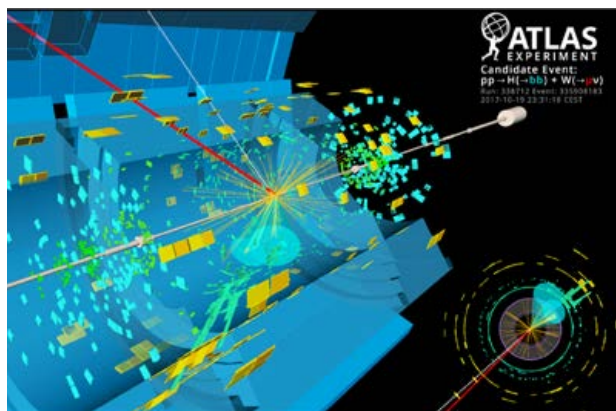
ZAREJESTROWANO ROZPAD BOZONU HIGGSA

W pierwszych dniach września 2018 r. CERN poinformował, że wespół z eksperymentów ATLAS i CMS przesłały do publikacji wyniki analiz zderzeń protonów w wielkim akceleratorze LHC przeprowadzonych podczas pierwszego i drugiego przebiegu LHC, czyli przy energiach 7, 8 i 13 TeV. Z obliczeń wynika, że odkryty przed sześcioma laty bozon Higgsa rozpada się na podstawowe cząstki znane jako kwarki dolne¹. Odkrycie jest zgodne z hipotezą, że wszechogarniające pole bozonu Higgsa również nadaje masę kwarkowi dolnemu. Średni czas życia bozonu Higgsa wynosi $1,56 \cdot 10^{-22}$ s. Zgodnie z przewidywaniami Modelu Standardowego fizyki cząstek ok. 60% rozpadów bozonu stanowią rozpady na parę kwarków dolnych. Kwark dolny jest trzecim ze względu na ciężar rodzajem kwarków. Testowanie tej hipotezy jest kluczowe, ponieważ wynik może albo potwierdzić Model Standardowy – który opiera się na założeniu, że pole Higgsa nadaje kwarkom i innym podstawowym cząstkom masę – albo ten model podważyć. A to wskazywałoby na podstawy nowej fizyki.

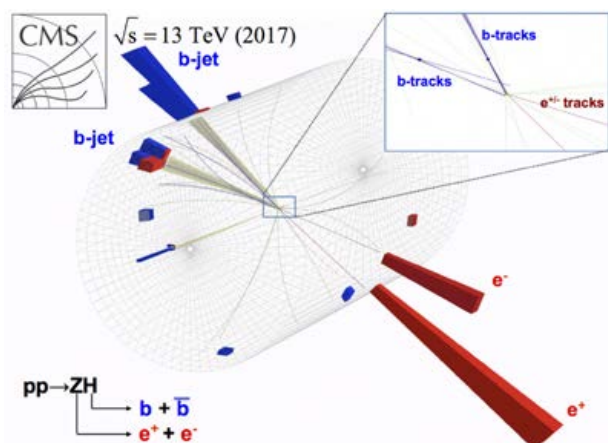
Trwający aż sześć lat okres poszukiwań wspólnego kanału rozpadu bozonu Higgsa świadczy, jak trudne było to zadanie. Istnieje bowiem wiele innych sposobów wytwarzania kwarków dolnych w zderzeniach proton-proton,

¹ Istnieje sześć zapachów (flavour) kwarków. Przez „zapachy” należy rozumieć po prostu różne rodzaje. Dwa najlżejsze kwarki otrzymały nazwy: **górnny** (up) i **dolny** (down). Nazwa trzeciego kwarka **dziwny** (strange) wzięła się z zadziwiająco długiego czasu życia cząstki K – pierwszej cząstki złożonej, w której kwark ten zaobserwowano. Nazwa czwartego kwarka **powabny** (charm) to wynik wybujałej fantazji fizyków, którzy uganiali się za nim jak za pełną wdzięku kobietą, nie mogąc jej zdobyć. Odkryto go w roku 1974 prawie równocześnie w Stanford (SLAC) i Laboratorium Narodowym Brookhaven. Piąty i szósty kwark w przeszłości nazywano prawdziwym i pięknym, jednak nawet fizycy po namyśle stwierdzili, że są zbyt oryginalne i w języku angielskim nazwy „truth/beauty” zastąpiono przez „top/bottom”. W języku polskim pozostały stare nazwy, gdyż nie udało się znaleźć zgrabnie brzmiących odpowiedników (czasem używa się nazw: szczytowy i denny). Kwark **piękny** (beauty/bottom) odkryto w Narodowym Laboratorium Fermi (Fermilab) w roku 1977 w cząstce złożonej zwanej ipsylon (Y). Ostatni kwark – **prawdziwy** (truth/top) **został odkryty** w roku 1995 również w Fermilab. Jest on najcięższym kwarkiem. Jego istnienie przewidziano już dawno temu, jednak dopiero w 1995 r. znaleziono dowody doświadczalne na jego istnienie. (<https://www.ifj.edu.pl/przygoda/frameless/quarknaming.html>)

wskutek czego trudno jest wyizolować sygnał pochodzący od rozpadu bozonu Higgsa z „szumu” tła związanego z takimi procesami. Dla kontrastu mniej powszechne kanały rozpadu bozonu Higgsa zaobserwowane w momencie odkrycia cząstki, takie jak rozpad na parę fotonów, są znacznie łatwiejsze do wydobywania z tła.



Fot. 1. Proponowany przez ATLAS rozpad bozonu Higgsa (H) na dwa kwarki dolne (b) stowarzyszone z bozonem Z rozpadającym się na mion (μ) i neutrino (ν) (fot.: ATLAS/CERN)



Fot. 2. Proponowany przez CMS rozpad bozonu Higgsa (H) na dwa kwarki dolne (b), stowarzyszone z bozonem Z rozpadającym się na elektron (e^-) i antyelektronem (e^+) (fot.: CMS / CERN)

Aby wyodrębnić sygnał, współpraca ATLAS i CMS połączyły uzyskane dane i zastosowały złożone metody analizy. Rezultatem, wspólnym dla obu eksperymentów było wykrycie rozpadu bozonu Higgsa na parę dolnych kwarków z dokładnością przekraczającą 5 odchyłe standardowych. Co więcej, oba zespoły mierzyły szybkość rozpadu, która jest zgodna z prognozą Modelu Standardowego, z wystarczającą dokładnością pomiaru.

Warto przypomnieć, że w eksperymentach na LHC uczestniczą Polacy. Fizycy z Krakowa (IFJ i AGH) stanowią liczną grupę we współpracy ATLAS, a warszawskie zespoły z Instytutu Fizyki Doświadczalnej UW (IFD UW) i Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) we współpracy CMS. Wszyscy oni mają znaczny wkład w uzyskane wyniki, co widać wyraźnie w każdej publikacji czy komunikacie CERN.

dr Małgorzata Nowina-Konopka,
Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN,
Kraków



MAEA WSKAZUJE NA ROLĘ ENERGETYKI JĄDROWEJ W WALCE ZE ZMIANĄ KLIMATU

17 września 2018 r

Energetyka jądrowa może mieć „istotny udział w realizacji celów związanych ze wstrzymaniem zmian klimatu, dostarczając znacznych ilości energii elektrycznej potrzebnej do globalnego rozwoju gospodarczego”, stwierdzono w nowym raporcie Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA).



Fot. 1. Energetyka jądrowa odgrywa ważną rolę w ograniczaniu emisji gazów cieplarnianych (fot.: Pixabay)

Raport Zamiana klimatu i energetyka jądrowa 2018 (*Climate Change and Nuclear Power 2018*), opublikowany w ubiegłym tygodniu stanowi aktualizację poprzedniej edycji z 2016 r., w celu włączenia najnowszych informacji naukowych i analiz dotyczących związku między produkcją energii a zmianą klimatu”.

Porozumienie w sprawie zmian klimatycznych zawarte w Paryżu, którego celem jest utrzymanie globalnego wzrostu temperatury w tym stuleciu poniżej 2°C, a także dążenie do ograniczenia wzrostu temperatury poniżej 1,5°C, zostało przyjęte w grudniu 2015 r. na 21. konferencji stron (COP21) w czasie Ramowej Konwencji Narodów Zjednoczonych w sprawie Zmian Klimatu (UNFCCC), która odbyła się w Paryżu. Weszła ona w życie w listopadzie 2016 r.

Wicedyrektor generalny MAEA Mikhail Chudakov powiedział: „Ten scenariusz wymaga znacznego zwiększenia udziału wszystkich czystych technologii niskoemisyjnych, takich jak energetyka jądrowa, wobec prawdopodobnego wzrostu zapotrzebowania na energię elektryczną w nadchodzących latach, ponieważ kraje potrzebują więcej energii na swój rozwój. Jeśli rozwój energetyki jądrowej nie będzie postępował równolegle z tym wzrostem, a inne technologie mogą nie wypełnić tej luki - to możemy nie sprostać naszym celom klimatycznym.”

Produkcja i wykorzystanie energii powodują prawie dwie trzecie całkowitej emisji gazów cieplarnianych (GHG), przyczyniając się w znacznym stopniu do zmiany klimatu. MAEA zauważa, że ok. 70% światowej energii elektrycznej jest obecnie wytwarzane przez spalanie paliw kopalnych. Aby osiągnąć cele klimatyczne do 2050 r. to 80% energii elektrycznej będzie musiało pochodzić ze źródeł niskoemisyjnych, napisano w raporcie.

„Jako źródło energii na wielką skalę, energetyka jądrowa posiada znaczący potencjał w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych” — czytamy w nowym raporcie. „Energetyka jądrowa pozwoliła uniknąć znacznej emisji CO₂ w ostatnich dziesięcioleciach. Wobec braku energetyki jądrowej i przy założeniu, że technologie oparte na paliwach kopalnych wytworzą odpowiednią ilość energii elektrycznej zgodnie z ich historycznymi udziałami w miksie elektroenergetycz-

nym, to emisja CO₂ byłaby znacznie wyższa. „MAEA szacuje, że energetyka jądrowa spowodowała zmniejszenie emisji o ok. 68 gigaton CO₂ w latach 1970-2015.

MAEA stwierdziła, że w nowym raporcie rozważono, w jaki sposób „wysiłki przemysłu jądrowego w celu sprostanienia wyzwaniom związanym z większym rozwojem energetyki jądrowej — takie jak zarządzanie odpadami promieniotwórczymi, kwestie bezpieczeństwa i wysokie koszty inwestycji — mogłyby znacznie zwiększyć potencjał źródeł niskoemisyjnych przyczyniając się do łagodzenia zmian klimatycznych”. Takie wysiłki, jak stwierdza raport, obejmują „postęp w rozwoju składowisk odpadów, reaktory z pasywnymi i inherentnymi (niezależnymi od operatora) systemami bezpieczeństwa, reaktory, które wytwarzają mniej odpadów i reaktory o alternatywnych kosztach inwestycyjnych”.

MAEA wyraziła nadzieję, że raport „wniesie użyteczny wkład w dyskusję decydentów uczestniczących w różnych zgromadzeniach, w tym UNFCCC, które zajmują się działaniami na płaszczyźnie międzynarodowej w zakresie dotyczącym zmian klimatu”.

80. ROCZNICA URODZIN REDAKTORA NACZELNEGO POSTĘPÓW TECHNIKI JĄDROWEJ

Dr Stanisław Latek ukończył w tym roku 80 lat. Jubilat, który niemal całe życie zawodowe związał z atomistyką jest osobą o wielu talentach i zainteresowaniach. Dzięki jego zaangażowaniu kwartalnik *Postępy Techniki Jądrowej*, przetrwał zawirowanie związane ze zmianą wydawcy i w swej nowej formule jako czasopismo popularnonaukowe jest nieprzerwanie wydawany od 1993 r. Historię PTJ Jubilat opisał zarówno na naszych łamach, jak i w artykule zamieszczonym w monografii „Czasopisma towarzystw naukowych w Polsce”.



Stanisław Latek urodził się 30 lipca 1938 r. w Białobrzegach. Studiował fizykę jądrową na Uniwersytecie Warszawskim, gdzie w roku 1963 uzyskał tytuł magistra i rozpoczął pracę w Zakładzie Fizyki Reaktorowej w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku. W roku 1982 IBJ został podzielony na Instytut Problemów Jądrowych (IPJ), Instytut Energii Atomowej (IEA) oraz Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ). Likwidacja i podział IBJ były formą represji władz stanu wojennego wobec niepokornych pracowników. Wśród zwolnionych był Stanisław Latek, który dzięki staraniom sekretarza Episkopatu został przywrócony do pracy w Instytucie Energii Atomowej. W 1984 r. obronił pracę doktorską pt. „Zastosowanie metody binarnych zaburzeń reaktywnościowych do badania własności dynamicznych reaktora doświadczalnego typu WWR-SM” na Politechnice Warszawskiej. W latach 80. ubiegłego wieku był redaktorem naczelnym zakładowego czasopisma REZONANS. Od roku 1990 został zatrudniony, jako dyrektor Departamentu Szkolenia i Informacji Społecznej w Państwowej Agencji Atomistyki. W tym czasie powierzono mu funkcję redaktora naczelnego „Postępów Techniki Jądrowej” i jednocześnie działał w Komitecie Redakcyjnym „Nukleoniki”. Od roku 2006 do 2012 zajmował stanowisko radcy

W osobnej publikacji wydanej w zeszłym tygodniu — zatytułowanej „Przewidywania dotyczące energii, energii elektrycznej i energetyki jądrowej do 2050 r.” — MAEA ostrzegła, że moce produkcyjne w elektrowniach jądrowych mogą się zmniejszyć, gdy stare reaktory zostaną wycofane z eksploatacji, a przemysł zmagają się ze zmniejszeniem kompetencji”.

Przewiduje się, że potencjał produkcyjny w zakresie energetyki jądrowej osiągnie poziom 511 GWe do 2030 r. i 748 GWe do 2050 r. w wysokiej prognozie MAEA. Stanowi to wzrost o 30% do 2030 r. w stosunku do obecnego poziomu i 90% w 2050 r. Scenariusz niskiej prognozy przewiduje moc elektrowni jądrowych w 2030 r. na poziomie 352 GWe, i nieznaczny wzrost do 356 GWe w 2050 r.

Tłumaczenie doniesienia z World Nuclear News

Andrzej Mikulski,

Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,

Warszawa

i rzecznika prasowego prof. Jerzego Niewodniczańskiego, Prezesa PAA. Aktualnie jest pracownikiem Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej pozostając na stanowisku redaktora naczelnego PTJ.

Dr Stanisław Latek pełni wiele innych funkcji społecznych. Od roku 1981 do chwili obecnej jest członkiem Zarządu lub Komisji Rewizyjnej Klubu Inteligencji Katolickiej. Wcześniej pełnił funkcję wiceprezesa i sekretarza tej organizacji, a od roku 1989 jest Sekretarzem Rady Porozumienia Klubów Inteligencji Katolickiej w Polsce. W latach 1997-2006 pracował na etacie docenta w Wyższej Szkole Turystyki i Hotelarstwa w Warszawie. W latach 1970-2013 był działaczem żeglarskim, członkiem i wiceprezesem Zarządu Polskiego Związku Żeglarskiego oraz przedstawicielem Związku w European Boating Association. W latach 1964-1975 był instruktorem i działaczem harcerskim, m.in. jako członek Rady Naczelnej ZHP.



Podczas czytania w kościele

Dr Stanisław Latek jest autorem licznych artykułów w czasopismach naukowych i popularnonaukowych, a także w wydawnictwach katolickich i turystycznych. Zaangażowany jest również w działalność Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego i Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie. Warto polecić książki autorstwa i współautorstwa Jubilata takie jak: *Vademecum turysty żeglarsza*, *Etyczne paradygmaty żeglarsstwa* oraz *Polska atomistyka*. Jest kawalerem Krzyża Kawalerskiego i Oficerskiego Orderu Odrodzenia

nia Polski. Otrzymał również liczne odznaczenia sportowe, resortowe i regionalne. Jest ojcem dwóch córek i zajmuje się 3 wnukami. Jubilat, co warto podkreślić, jest w znakomitej kondycji fizycznej i intelektualnej. Nadal uprawia żeglarsstwo i zajmuje się działalnością rekreacyjną w Warszawie.



Stoisko IChTJ podczas wystawy
w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej

Warto na koniec zacytować życzenia, które Jubilat otrzymał od Centrum Turystyki Wodnej, pod którymi możemy się śmiało podpisać. „Robert Baden-Powell, twórca ruchu skautowego, powiedział kiedyś, że najlepszy sposób osiągnięcia szczęścia to rozsiewanie go wokół siebie. Twoja życzliwość i serdeczny stosunek do ludzi są powszechnie znane, a cierpliwość ma charakter wręcz legendarny. W czasach zacierania się autorytetów i utrwalania nowych norm Twoje dokonania pozostają wciąż bardzo istotne i doceniane przez środowisko wodniaków i atomistów. Z okazji Jubileuszu życzymy Ci niegasnącej aktywności, dzielenia się Twoją mądrością i doświadczeniem z kolejnymi pokoleniami, służenia radą młodszemu. Z przyznaj się do wieku, bo wiek świadczy o człowieku. Twój ogrom doświadczenia i wiedzy godny jest pozazdroszczenia. Każdy dzień witaj z radością, czerp z życia wszystko, co najlepsze”.



Ceremonia wręczenia Krzyża Odrodzenia Polski przez
Prezydenta RP Bronisława Komorowskiego



wspólne z zięciem śpiewanie szant

Redakcja zawsze z dumą podkreśla, że nasze pismo, *Postępy Techniki Jądrowej* ma rodowód sięgający 1964 r., czasów rodzenia się atomistyki w Polsce. Dlatego chylimy czoła wobec Redaktora Naczelnego, który od wielu lat pełni to stanowisko, a także wobec osób, które zdecydowały się na utrzymanie wydawania miesięcznika po 2012 r. Kwartalnik po wielu kolejach losu i różnych wydawcach decyzją prof. Andrzeja Chmielewskiego, dyrektora Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej znalazł w 2012 r. przystań w tym Instytucie, który jest jego współwydawcą wraz z Polskim Towarzystwem Nukleonowym.

Komitet Redakcyjny wraz z całym zespołem gratuluje Redaktorowi Naczelnemu *Postępów Techniki Jądrowej* Stanisławowi Łatkowi zapału i energii w przekazywaniu wielu informacji i sprawianiu, żebyśmy wiedzieli o tym, co jest ciekawe w polskiej atomistyce.

Życzymy napisania jeszcze wielu artykułów, dziękujemy za stworzenie dobrej atmosfery w redakcji i poczucia współtworzenia wartościowego i potrzebnego czasopisma.

życzy
Redakcja „*Postępów Techniki Jądrowej*”



UROCZYSTOŚĆ ODSŁONIĘCIA TABLICY PAMIĄTKOWEJ POŚWIĘCONEJ PAMIĘCI PROFESORA JERZEGO KROH (1924–2016)

12 czerwca 2018 r. w budynku Międzyresortowego Instytutu Techniki Radiacyjnej Politechniki Łódzkiej (MITR), w obecności władz PŁ i Wydziału Chemicznego, pani prezydent miasta Łodzi Hanny Zdanowskiej, gości z PAN, Łódzkiego Towarzystwa Naukowego, Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej i innych instytucji naukowych, odbyła się uroczystość odsłonięcia tablicy poświęconej pamięci prof. dr hab. Jerzego Kroh, wybitnego uczonego, twórcy MITR, polskiej szkoły chemii radiacyjnej i Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych im. Marii Skłodowskiej-Curie, członka rzeczywistego PAN i rektora Politechniki Łódzkiej. Uroczystość zgromadziła też liczne grono współpracowników, uczniów i wychowanków Profesora. Uczestników powitał dyrektor MITR, prof. dr hab. Andrzej Marcinek, a przemówienie wygłosił JM Rektor PŁ prof. dr hab. inż. Sławomir Wiak. Odsłonięcia tablicy autorstwa artysty plastyka Pawła Nawrota dokonali wspólnie JM Rektor PŁ oraz syn Profesora, Jan Kroh. Po przemówieniach zaproszonych gości, w tym dyrektora IChTJ prof. dr hab. Andrzeja Chmielewskiego, nastąpiła mniej formalna część uroczystości, podczas której Profesora wspominali jego przyjaciele, uczniowie i współpracownicy. Wspomnieniom towarzyszył przegląd archiwalnych zdjęć ilustrujących życie i pracę prof. Kroh.

Prof. Jerzy Kroh urodził się w Warszawie w roku 1924. Był uczniem Państwowego Gimnazjum im. Stefana Batorego. W czasie wojny kontynuował naukę na tajnych kompletach. W 1942 r. zdał maturę i podjął studia na tajnym Uniwersytecie Warszawskim. Brał udział w powstaniu warszawskim. Po wojnie kontynuował studia chemiczne na Politechnice Łódzkiej, uzyskując dyplom w roku 1947, a w 1950 r. doktorat. Równolegle otrzymał dyplom z fizyki na Uniwersytecie Łódzkim. Po okresie intensywnej pracy naukowej związanej głównie z badaniami nad chemiluminescencją (habilitacja w roku 1958), wyjechał na staż do Wielkiej Brytanii, do laboratorium w Leeds

kierowanego przez wybitnego chemika radiacyjnego, prof. Fredericka Daintona. Odtąd jego zainteresowania naukowe koncentrowały się na chemii radiacyjnej.

Po kolejnych stażach w Kanadzie i USA powrócił do kraju i poświęcił się organizowaniu na Politechnice Łódzkiej pierwszego w Polsce akademickiego ośrodka badań radiacyjnych (od 1962 r. Katedra Chemii Radiacyjnej, od 1970 r. Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej –

MITR, którym kierował do przejścia na emeryturę w 1994 r.). Przez ponad trzydzieści lat, kierując Instytutem, Profesor był motorem jego rozwoju, zarówno w zakresie bazy materialnej, jak i personelu naukowego, a także nowych kierunków badań podstawowych i stosowanych. To w głównej mierze dzięki Niemu MITR znajduje się dziś, pod względem poziomu naukowego, w czołówce ośrodków radiacyjnych na świecie.



Fot. 1. Honorowi uczestnicy na uroczystości odsłonięcia tablicy pamiątkowej poświęconej pamięci prof. Jerzego Kroh (fot. MITR)



Fot. 2. Odsłonięcia tablicy dokonali wspólnie od lewej: prof. Andrzej Marcinek, dyr. MITR, Jan Kroh, syn prof. Kroh, prof. Sławomir Wiak, Rektor PŁ, prof. A. Chmielewski, dyr. IChTJ, Hanna Zdanowska, prezydent m. Łodzi (fot. MITR)

Prof. Kroh był uczonym wielkiego formatu, autorem kilkuset artykułów naukowych (w tym w najbardziej prestiżowych czasopiśmie naukowych, takich jak *Nature* i *Science*) oraz promotorem 35 prac doktorskich, napisał i zredagował wiele książek. Był członkiem rzeczywistym Polskiej Akademii Nauk (przewodniczącym Komisji Chemii Jądowej Komitetu Nauk Chemicznych, wiceprzewodniczącym Komitetu Nauk Jądowych i Radiacyjnych oraz wiceprzewodniczącym Oddziału w Łodzi), członkiem honorowym Royal Society of Edinburgh, Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych i Łódzkiego Towarzystwa Naukowego, współzałożycielem i prezesem Rady Fundacji Badań Radiacyjnych.

Prof. Jerzy Kroh był znany i ceniony również za granicą, o czym świadczą doktoraty honorowe zagranicznych uczelni (Uniwersytet Strathclyde w Glasgow i Uniwersytet w Leeds, Wielka Brytania; Uniwersytet w Pawii, Włochy) i zagraniczne odznaczenia, w tym między innymi japoński Order Srebrnej i Złotej Gwiazdy.

W latach 1981–1987 prof. Jerzy Kroh był rektorem Politechniki Łódzkiej, która w 1995 r. uhonorowała Go tytułem doktora honoris causa, a w latach 1996–1998 był wiceprezydentem miasta Łodzi do spraw nauki i edukacji.

Prof. Jerzy Kroh posiadał wielki talent i zamiłowanie do integrowania środowiska naukowego, zarówno w Polsce, jak i na arenie międzynarodowej. Podejmował istotne i dalekosiężne działania na rzecz współpracy badaczy radiacyjnych, pracujących w rozmaitych dziedzinach, od chemii, fizyki, biologii, do przemysłu i medycyny. Z Jego inicjatywy między innymi powstało Polskie Towarzystwo Badań Radiacyjnych (PTBR) im. Marii Skłodowskiej-Curie. Doprowadził do włączenia PTBR do International Association for Radiation Research (IARR), a w latach 1983–1987 pełnił funkcję członka zarządu IARR.

Prof. Jerzy Kroh przez dziesiątki lat był niestrudzoną propagatorem pamięci o Marii Skłodowskiej-Curie i jej osiągnięciach w kraju i za granicą, co zostało docenione w postaci zaproszenia do uczestnictwa, wspólnie z prezydentem Wałęsą, w ceremonii przeniesienia zwłok Marii i Piotra Curie do paryskiego Panteonu.

*dr hab. Piotr Ulański,
Politechnika Łódzka,
Łódź*



GRA POZORÓW. ARSENAŁ NUKLEARNY A DYPLMACJA

Mohamed ElBaradei

Tłumaczenie: Tomasz Szlagor
Wydawnictwo: Wydawnictwo Dolnośląskie 2011



Fot. 1. Strona tytułowa książki (fot. Krzysztof Rzymkowski)

Publikacja GRA POZORÓW była wydana dość dawno i dotyczy względnie odległego okresu, ale obecna sytuacja międzynarodowa powoduje, że wiele jej wątków wymaga przypomnienia. Mohamed ElBaradei był dyrektorem generalnym Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) od grudnia 1997 do 29 listopada 2009 r. Doktorat z prawa międzynarodowego uzyskał w New York University School of Law w 1974 r. Będąc od 1984 r. starszym członkiem personelu Sekretariatu MAEA między innymi doradcą dyrektora generalnego ds. Stosunków Zewnętrznych, był od początku czynnie zaangażowany w prowadzenie trudnych pertraktacji z Irakiem, Koreańską Republiką Ludowo-Demokratyczną (Koreą Północną), Iranem, Libią. Prowadzona przez MAEA działalność pokojowa została uhonorowana w 2005 r. pokojową Nagrodą Nobla.

GRA POZORÓW jest napisana bardzo barwnym i żywym językiem opisującym szczegółowo skomplikowane procesy negocjacji prowadzonych przez MAEA na tle polityki międzynarodowej. Noblista Mohamed ElBaradei po raz pierwszy otwarcie opowiada o swojej roli rozjemcy w najgroźniejszych konfrontacjach współczesnego świata. Autor opowiada bardzo sugestywnie o swoich spotkaniach z najważniejszymi politykami światowymi i ich rezultatach odsłaniając kulisy niektórych konfliktów międzynarodowych. Będąc dyrektorem organizacji, której zadaniem jest zapobieganie rozprzestrzenianiu broni jądrowej, autor opowiada również o trudnościach, na jakie napotykał w stosunkach z członkami tej organizacji. Dużą część książki poświęcona jest domniemanemu wykryciu tajnego programu nuklearnego w Iraku, wojnie w Iraku. Opisane są również trudne stosunki MAEA z Koreą Północną. Międzynarodowym sukcesem było wykrycie i demontaż urządzeń programu jądrowego w Libii. Bardzo ciekawym fragmentem książki jest opis historii negocjacji na temat wstrzymania budowy zakładów wzbogacania uranu w Iranie, dowiadujemy się, jak niezwykle trudno było osiągnąć międzynarodowy kompromis w tej sprawie. Jak wiadomo, podejrzewano Iran o współpracę z Koreą Północną.

Dr Mohamed ElBaradei zastanawia się również czy możliwe będzie całkowite wyeliminowanie broni jądrowej. Uważa, że bezpieczeństwo nie zależy od ilości posiadanej broni, ale poszanowania praw człowieka i praw demokracji.

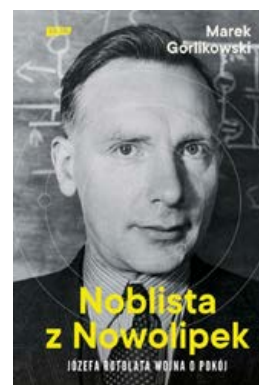
dr inż. Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów na
Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa



„NOBLISTA Z NOWOLIPEK. JÓZEFA ROTBLATA WOJNA O POKÓJ”

Marek Górlikowski

Wydawnictwo: Znak, Kraków 2018



Fot. 1. Strona tytułowa książki „Noblista z Nowolipek. Józefa Rotblata wojna o pokój” (fot. Znak)

Wbrew powszechnym mniemaniom budowa bomby atomowej jest prosta jak konstrukcja temperówki. Pozostaje jednak kolosalnym wyzwaniem inżynierskim – i dlatego żyjemy w okresie względnego pokoju, między drugą a trzecią wojną światową. Podobnie jest z budową biografii. Niby wiadomo, z czego składa się człowiek, niby wszędzie już można polecieć, „zapytać FBI”, skopiować z archiwów, ale osiągnąć masę krytyczną, sprawić, by słowo stało się ciałem?

Autor przypomina postać w sposób skandaliczny przesuniętą w obszar zapomnienia lub wyparcia. Urodzony w 1908 r. Józef Rotblat, wybitny polski fizyk pochodzenia żydowskiego, brał udział w Projekcie Manhattan (pracuje nad bombą atomową). Ma wówczas 36 lat, później jednak m.in. z Albertem Einsteinem i Bertrendem Russellem założył ruch Pugwash dążący do eliminacji arsenału, który sam współtworzył. W 1995 r. dostał za to Pokojową Nagrodę Nobla.

„Noblista z Nowolipek” to nie tylko inspirująca opowieść o człowieku, który miał odwagę sprzeciwić się światowemu mocarstwu. To wciągająca, znakomicie opowiedziana historia początków fizyki jądrowej, budowy bomby atomowej i rozkręcającego się wyścigu zbrojeń.

Marek Górlikowski dociera do dokumentów FBI, polskiej bezpieki oraz archiwów noblisty w Londynie i Cambridge. Opisuje dramatyczne wojenne losy rodziny Rotblatów, ale też odsłania kulisy działalności jednej z najbardziej kontrowersyjnych organizacji pokojowych świata.

źródło: <http://www.wydawnictwoznak.pl/ksiazka/Noblista-z-Nowolipek/8262>



MICHAŁ ANDRZEJ NADACHOWSKI

(ur. 10 listopada 1937, zm. 26 lipca 2018 r.)

Michał Andrzej Nadachowski uzyskał tytuł mgr inż. w 1962 r. na Wydziale Łączności Politechniki Warszawskiej przedstawiając pracę dyplomową z dziedziny radiologii i elektroniki medycznej. Jeszcze przed ukończeniem studiów rozpoczął w maju 1961 r. pracę w Instytucie Badań Jądrowych (po reorganizacji Instytucie Problemów Jądrowych), w którym pracował do grudnia 1997 r. Od czerwca 1963 r. został pracownikiem naukowym na stanowisku asystenta, awansując w kolejnych latach (st. asystenta – 1964, Adjunkta – 1972) do stanowiska docenta (1989).

Rozprawę doktorską pt.: „Analiza pracy systemów stabilizacji układów spektrometrycznych” obronił w kwietniu 1977 r. w Instytucie Badań Jądrowych.

Przez cały okres zatrudnienia w JBJ pracował w Zakładzie Elektroniki Jądrowej, pełniąc początkowo obowiązki kierownika pracowni Analogowo-cyfrowej (1976-1977) następnie zastępcy kierownika zakładu (1986-1990), a od roku 1990 do 1996 kierownika zakładu. Od 01.10.1996 do 31.12.1997 był zastępcą dyrektora do spraw badawczo-rozwojowych w Instytucie Problemów Jądrowych. Od czerwca 1986 do lipca 1987 r. był powołany przez Prezesa PAA na kierownika Centralnego Programu Badawczo-Rozwojowego Nr 5.8 pt. „Technika Jądrowa”.

Od stycznia 1997 r. po odejściu z instytutu został reaktorem naczelnym miesięcznika Radioamator, z którym współpracował przez cały czas pracy zawodowej. Funkcję tę pełnił do osiągnięcia wieku emerytalnego.

Michał Nadachowski był współautorem następujących monografii i książek:

- [1] Libura A., Nadachowski M., *Przetworniki analogowo-cyfrowe*, WNT, Warszawa 1973
- [2] Kulka Z., Nadachowski M., *Liniowe układy scalone i ich zastosowanie*, 4 wydania, pierwsze — Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej, Warszawa 1973 oraz trzy następne — WKŁ, Warszawa w latach 1973, 1974 i 1976
- [3] Kulka Z., Nadachowski M. oraz odwrotnie, Nadachowski M., Kulka Z., *Analogowe układy scalone*. — 4 wydania — WKŁ, Warszawa w latach 1979, 1980, 1983 i 1985 (z 5 tysięcznym dodrukiem)
- [4] Golde W., Śliwa L., Kulka Z., Nadachowski M., *Wzmacniacze operacyjne i ich zastosowanie*, WNT, Warszawa 1982
- [5] Kulka Z., Nadachowski M., *Zastosowanie wzmacniaczy operacyjnych*, WNT, Warszawa 1986
- [6] Kulka Z., Libura A., Nadachowski M., *Przetworniki analogowo-cyfrowe i cyfrowo-analogowe*, WKŁ., Warszawa 1987
- [7] Michał Nadachowski *Katalog tranzystorów* <https://w.bibliotece.pl>
- [8] Steven W. Smith *Cyfrowe przetwarzanie sygnałów. Praktyczny poradnik dla inżynierów i naukowców CPS_PP Tł. Michał Nadachowski*

Brał także udział w tłumaczeniach publikacji np. R. van der Plasche, *Scalone przetworniki a/c i c/a*, dla WKŁ (co najmniej 2 wydania) oraz innych poświęconych cyfrowemu przetwarzaniu sygnałów.

Największą popularnością cieszyła się publikacja *Liniowe układy scalone i ich zastosowanie* wydana po raz

pierwszy w 1973 r. przez Ośrodek Informacji o Energii Jądrowej. Publikacja ta swój wielki sukces zawdzięczała: zupełnie nowej w tym czasie tematyce dotyczącej układów scalonych, jasnemu przekazowi i praktycznym wskazówkom dla konstruktorów aparatury elektronicznej.

Oprócz działalności naukowej Michał Nadachowski był członkiem zespołów normalizacyjnych aparatury jądrowej krajowego, jak i międzynarodowego komitetu normalizacyjnego IEC. Działał społecznie w SEP, był członkiem założycielem Fundacji PROCAMAC, której został wiceprzewodniczącym, a później przewodniczącym. Celem Fundacji było popularyzowanie zastosowania w różnych gałęziach gospodarki narodowej mikroprocesorowych systemów modularnych do automatyzacji, sterowania i pomiarów w fizyce i energetyce jądrowej oraz popieranie innych celów statutowych SEP, z którym fundacja była związana. Ponieważ cele fundacji zostały wyczerpane (błyskawiczny rozwój technologii elektronicznych) jej zarząd postanowił kontynuować działalność na rzecz energetyki jądrowej powołując nową organizację Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej. Jednym z jej założycieli był Michał Nadachowski. Będąc już na emeryturze, poświęcił się głównie tłumaczeniom i uczestniczył w miarę możliwości w działaniach SEREN.

Michał Nadachowski był odznaczony Złotą Odznaką „Zasłużony dla IBJ” — 1978,. Jego działalność społeczna została uznana przez SEP poprzez nadanie mu Złotej Odznaki Honorowej.

Nie są to na pewno wyczerpujące informacje o Michałku, którego wiedza ogólna była bardzo szeroka, co pozwoliło mu nawet startować w trudnych teleturniejach.

Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa

Materiał opracowano na podstawie wspomnień Z. Kulki, M. Moszyńskiego, Z. Komora, S. Gębalskiego i moich.



KRZYSZTOF PYTEL

(1946-2018)



Żegnamy naszego Kolegę i Przyjaciela dr. Krzysztofa Pytla, który od lat 70-tych ubiegłego wieku związany był z Ośrodkiem Świerk. Był człowiekiem o wielkiej wiedzy, ogromnych kompetencjach zawodowych, szerokim doświadczeniu i wielkiej kulturze osobistej. Człowiekiem, z którym współpraca stanowiła wielką satysfakcję dla wszystkich. Nie sposób, nie powiedzieć, że dr Krzysztof Pytel był „krynicą wiedzy” o fizyce jądrowej i reaktorach badawczych, szczególnie o reaktorach jądrowych EWA i MARIA. Krzysztof Pytel był doskonałym profesjonalistą, a zarazem wspaniałym, zawsze otwartym na innych Kolegą szczególnie dla młodych pracowników rozpoczynających swoją przygodę z tematyką reaktorów jądrowych.

Krzysztof Pytel zawsze kierował się dobrem ludzi, z którymi pracował, jak i miejsca pracy, poprzez dbanie o właściwe przekazywanie posiadanej wiedzy i doświadczenia innym współpracownikom. W miarę możliwości przekazywał bez reszty posiadane wiadomości młodszemu kolegom. Nieustannie był chętny do pomocy innym.

Zapisał się w naszej pamięci jako znakomity Kolega, przyjaciel z nieustannie pozytywnym nastawieniem poszukiwania rozwiązań najróżniejszych zagadnień. Pełnił funkcję rzeczywistego promotora licznych prac doktorskich i magisterskich, w których oficjalnie nie był wymieniany ze względów formalnych. Nie stanowiło to nigdy dla dr. Krzysztofa Pytla problemu, gdyż pomoc przy realizacji zadań i prac badawczych była dla niego kwestią ideową i niepodlegającą dyskusji. Był przy tym osobą, którą cechowała zawsze niezwykła skromność i przyjaźń całego otoczenia.

Dr Pytel ukończył Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 1969 r. i został zatrudniony w Instytucie Badań Jądrowych w Zakładzie XI Eksploatacji reaktora EWA. Kolejne szczeble kariery zawodowej to funkcja Kierownika Pracowni Eksploatacyjnych Analiz Reaktorowych i Bezpieczeństwa Jądrowego w Zakładzie Eksploatacji Reaktorów (1976), stanowisko Kierownika Pracowni Operatorskiej Reaktora EWA (1979) i uzyskał uprawnienia kierownika zmiany reaktora EWA (1984). Następnie został kierownikiem Zakładu Eksploatacji Reaktora EWA (1983) w Ośrodku Reaktorów i Produkcji Radioizotopów (ORIPI).

Od początku swej pracy zawodowej włączał się czynnie w prace przygotowujące programy wykorzystania reaktorów badawczych EWA i MARIA, a wspólnie z mgr inż. Czesławem Nyczem opracował szereg zagadnień analitycznych dotyczących bezpieczeństwa, najpierw w reaktorze EWA, a potem w reaktorze MARIA.

Działalność naukowo-badawczą rozpoczął od zaangażowania w pomiary kalorymetryczne prowadzone w reaktorze EWA w ramach międzynarodowych badań porównawczych prezentowanych w trakcie konferencji „*Intercomparison of reactor calorimeter*” zorganizowanej w Świerku w maju 1972 r.

Miał tę satysfakcję, będąc młodym fizykiem, uczestniczyć w pierwszym doświadczeniu krytycznym reaktora MARIA w grudniu 1974 r., a w drugim w 1992 r. i przyczynił się do wyjaśnienia błędów w oszacowaniu masy krytycznej, gdyż początkowo nie uwzględniono pochłaniania neutronów w częściowo napromieniowanym berylu.

W 1981 r. otrzymał nagrodę za *opracowanie i wykonanie dodatkowego układu zabezpieczeń i awaryjnego zraszania rdzenia reaktora EWA* oraz uzyskał świadectwo racjonalizatorskie na „*Sposób bezstykowej kontroli i realizacji rzeczywistej ekspozycji w ruchomych kanałach do naświetlań w reaktorze atomowym*”.

W tym samym roku powołany został na członka Rady Programowej ORIPI, a od listopada 1984 r. powierzono mu funkcję Pełnomocnika Dyrektora ORIPI. Po zmianach organizacyjnych w Ośrodku Świerk dr Krzysztof Pytel objął od grudnia 1990 r. stanowisko kierownika Zakładu Analiz i Pomiarów Reaktorowych. Po kolejnych zmianach, jakie następowały w latach 1994 i 1999 piastował kierownicze stanowiska w pracowniach związanych z analizami i pomiarami reaktorowymi w tym m.in. funkcję kierownika Pracowni Pomiarów Reaktorowych i z-cy Kierownika Zakładu Badań i Technik Reaktorowych.

Wprowadził, najpierw w reaktorze EWA, a później w reaktorze MARIA technologię neutronowej modyfikacji kryształów krzemu, która została wyróżniona w roku 2006 przez Polską Agencję Rozwoju Przemysłu (PARP) nagrodą Polski Produkt Przyszłości.

Po przejściu do reaktora MARIA jego zainteresowania zawodowe skupiały się na pracach związanych z doбором parametrów fizycznych pracy tego reaktora, w celu zwiększenia możliwości jego wykorzystania. Był osobą, dzięki której możliwe było rozpoczęcie nowatorskiego programu

napromieniania topazów w reaktorach EWA i MARIA. Jego praca zaowocowała tym, co dziś szczególnie doceniamy, że reaktor ten jest jednym z niewielu reaktorów na świecie o parametrach neutronowych umożliwiających wytwarzanie szeregu radioizotopów wykorzystywanych głównie w medycynie nuklearnej, w tym molibdenu służącego do wytwarzania technetu, najszerzej stosowanego radioizotopu w medycynie. Dziś jest to jedna z wizytówek nie tylko reaktora MARIA, ale całego NCBJ, stanowiąc istotne źródło dochodów instytutu.

W latach 1985-2002 będąc ekspertem MAEA, był konsultantem merytorycznym szeregu misji skierowanych do takich krajów rozwijających swoje programy reaktorowe jak: Irak (trzy misje), Iran (trzy misje), Syria (dwie misje) i Wietnam (jedna misja). Prowadził też wykłady i szkolenia z zakresu fizyki reaktorowej, m.in. w Kairze, Atenach, Lizbonie, a w Świerku zorganizował i prowadził długoterminowy kurs dla pracowników ośrodka jądrowego w Syrii.

O zaangażowaniu w pracę Krzysztofa Pytla na rzecz instytutu może świadczyć fakt, iż był jedną z niewielu osób, które potrafiły zrezygnować z otrzymanego stypendium od MAEA na rzecz powierzonych mu obowiązków. Dopiero kiedy sytuacja na to pozwalała, zdecydował się wyjechać na stypendium. Stało to się w 1982 r., kiedy rozpoczął stypendium w Instytucie Energii Jądrowej (IKE) przy Politechnice w Hanowerze (RFN), a na podstawie wykonanej tam pracy uzyskał stopień doktora nauk technicznych nadany Uchwałą Rady Naukowej przez Instytut Badań Jądrowych z dnia 30 marca 1982 r.

W latach 2006-2012 walczył przyczynił się do konwersji reaktora MARIA z paliwa wysoko-wzbogaconego na paliwo niskowzbogacone, prowadząc obliczenia fizyczne i cieplno-hydrauliczne przy współpracy z Argonne National Laboratory (USA).

W latach 2009-2016 Krzysztof Pytel był współodpowiedzialny za kwestie bezpieczeństwa związane z wywozem wypalonego paliwa do Federacji Rosyjskiej w ramach amerykańskiej Inicjatywy Redukcji Globalnego Zagrożenia (*Global Threat Reduction Initiative*). Był głównym specjalistą odpowiedzialnym za analizy bezpieczeństwa urządzeń eksperymentalnych wprowadzanych i eksploatowanych w reaktorze MARIA. Przez ostatnie ćwierć wieku pozostawał głównym redaktorem kolejnych wersji Raportu Bezpieczeństwa reaktora MARIA.

Dr Krzysztof Pytel pełnił kluczową funkcję w Komisji Bezpieczeństwa Jądrowego najpierw IEA, a potem NCBJ.

Wiedza i doświadczenie dr. Krzysztofa Pytla była powszechnie uznana nie tylko wśród zespołów reaktora MARIA i w całym środowisku najpierw IEA, a potem NCBJ, ale także w szeregu ośrodków naukowych, w tym uniwersyteckich, w Polsce i za granicą. Zespoły reaktora MARIA regularnie korzystały z Jego pomocy przy opracowywaniu analiz i obliczeń na rzecz nowych projektów.

Krzysztof Pytel był autorem kilkudziesięciu publikacji oraz ponad stu raportów wewnętrznych. Do osiągnięć udokumentowanych stosownym certyfikatem należy wydane w dniu 25.04.1990 r. przez Urząd Patentowy świadectwo Autorskie nr 253670 o dokonaniu wynalazku pt. „*Sposób wytwarzania jodu-125 o wysokiej czystości promieniowania z ksenonu-124 i sonda do wytwarzania jodu-125 o wysokiej czystości promieniowania z ksenonu-124*”.

Już od pierwszych lat pracy wykazał się szczególną pracowitością, własną inicjatywą oraz umiejętnością organizowania prac badawczych.

Niezależnie od posiadanej wiedzy dotyczącej reaktorów jądrowych i fizyki jądrowej, dr Krzysztof Pytel interesował się także interdyscyplinarnymi metodami zastosowania fizyki jądrowej, a neutronów w szczególności. Pasjonował się też najnowszymi zagadnieniami astrofizycznymi i kosmologicznymi, których analiza też była w sferze Jego zainteresowań. Wszystkie te działania podejmował z dużym zaangażowaniem i z dużą dozą kompetencji.

Czekał na urlop, który spędzał z wnukiem nad jednym z jezior na Pojezierzu Augustowskim. W pamięci przyjaciół pozostają wyprawy do jaskiń jurajskich, a jedna z nich koło świętokrzyskiego Łagowa należy do Jego odkryć.

Dla wszystkich, którzy go znali pozostaje niedoścignionym wzorem pracownika, kolegi i przyjaciela, czyli po prostu człowieka.

Opracował A. Mikulski na podstawie wspomnień zamieszczonych na stronie internetowej NCBJ przez przyjaciół i kolegów z reaktora MARIA



PROF. DR HAB. JERZY JASTRZĘBSKI

(1934 - 2018 r.)



Prof. Jastrzębski zapisał się w naszej pamięci jako wybitny fizyk jądra atomowego, twórca Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów oraz pionier polsko-francuskiej współpracy w dziedzinie fizyki jądrowej. Profesor już w latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku nawiązał współpracę pomiędzy środowiskami polskich i francuskich fizyków jądrowych i doprowadził do jej ugruntowania podpisaniem Konwencji pomiędzy francuskim

IN2P3 oraz Polskim Konsorcjum Instytucji Naukowych COPIN, którego koordynatorem jest Instytut Fizyki Jądrowej. Ta niezwykle cenna i przynosząca ogromną ilość światowej klasy wyników naukowych współpraca ciągle się rozwija. Profesor był wielkim miłośnikiem Zakopiańskich Szkół Fizyki organizowanych przez Instytut Fizyki Jądrowej w Krakowie od 1963 r. – uczestniczył i prezentował wyniki swoich badań na wielu tych konferencjach, przyczyniając się do uzyskania przez nie renomy międzynarodowej.

Prof. był mocno związany ze społecznością fizyków jądrowych IFJ PAN. Był stałym uczestnikiem naszych wydarzeń naukowych, wnikliwym recenzentem promującym naszych młodych naukowców. Pragniemy złożyć Mu hołd i wyrazić wdzięczność za długie lata, podczas których łączył swoją osobą nasz instytut ze środowiskiem fizyków warszawskich. Profesor Jerzy Jastrzębski pozostanie na zawsze w naszej pamięci jako wspaniały człowiek, cenny uczoney i wielki autorytet.

Jego odejście jest bardzo dużą stratą dla polskiej fizyki.

*Dyrekcja, Rada Naukowa i Pracownicy,
Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie*

Prof. Jastrzębski przez ponad 60 lat swojej działalności naukowej stał się jedną z najbardziej znaczących postaci w polskiej fizyce jądrowej. Swoją karierę naukową rozpoczął w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku, gdzie pracował do 1983 r. W kolejnych latach, jako dyrektor Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów UW, współpracował z naukowcami z NCBJ i wspierał ich inicjatywy. Był naszym oddanym przyjacielem, a w ostatnich latach nieocenione było Jego wsparcie dla projektu CERAD przewidującego budowę w NCBJ cyklotronu na potrzeby badań i produkcji radiofarmaceutyków. Jego odejście jest dla nas wszystkich bolesną stratą.

*Dyrekcja i Rada Naukowa
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock*

Prof. Krzysztof Rusek ze Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów wspomina prof. Jerzego Jastrzębskiego

Prof. Jerzy Jastrzębski był wybitnym fizykiem w dziedzinie eksperymentalnej fizyki jądrowej, a także w zastosowaniach metod fizyki jądrowej w medycynie. Był jednym z twórców i wieloletnim dyrektorem Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego. Zmarł 19 sierpnia w Warszawie.

Prof. Jerzy Jastrzębski był absolwentem Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu. Po uzyskaniu tytułu magistra w roku 1955 rozpoczął prace w nowo powstałym Instytucie Badań Jądrowych w Świerku, założonym i kierowanym przez prof. Andrzeja Sołtana. Już po dwóch latach, w uznaniu poczynionych postępów, został wysłany na stypendium naukowe do człołowego francuskiego laboratorium fizyki jądrowej w Orsay pod Paryżem. Pracując tam przez kilka lat w gronie znakomitych naukowców, stał się ekspertem w dziedzinie spektroskopii jądrowej, publikując wiele ważnych wyników swoich badań. Były one przedmiotem jego pracy doktorskiej (1963 rok) i habilitacyjnej (1971 rok). W roku 1981 uzyskał tytuł profesora. W Instytucie Badań Jądrowych pracował do roku 1983, przenosząc się następnie do powstającego właśnie Środowiskowego Laboratorium Ciężkich Jonów Uniwersytetu Warszawskiego, którego już po roku został dyrektorem. Funkcję tę pełnił, z czteroletnią przerwą w latach 1996-2000, do roku 2009, będąc jednym z twórców tego Laboratorium. Wspomnianą przerwę wykorzystał na prowadzenie intensywnych badań naukowych dotyczących rozkładu materii w jądrach atomowych nowatorską metodą z użyciem wiązki antyprotonów. Powstałe wówczas prace cieszą się do dziś dużym zainteresowaniem.

Prof. Jastrzębski, naukowiec z ogromnym dorobkiem, rozumiał służebną wobec społeczeństwa rolę badań podstawowych. W początkach XXI wieku rozpoczął prace nad zastosowaniami radioaktywnych izotopów w diagnostyce i terapii chorób nowotworowych. Był pomysłodawcą Ośrodka Produkcji i Badań Radioizotopów, który dzięki jego tytanicznej pracy, uporowi i wytrwałości powstał w Środowiskowym Laboratorium Ciężkich Jonów. Nawiązał szeroką współpracę z naukowcami z kraju i z zagranicy specjalizującymi się w medycynie nuklearnej i radiochemii i w jej ramach prowadził intensywne badania interdyscyplinarne związane z zastosowaniem metod jądrowych w medycynie. Działalność ta postawiła Go w ostatnich latach w jednym szeregu z wybitnymi ekspertami z tej dziedziny.

Prof. Jastrzębski położył ogromne zasługi w organizacji współpracy naukowców z Polski i Francji. Był założycielem i wieloletnim członkiem Polsko-Francuskiej Komisji ds. współpracy, a także reprezentantem Polski w Nuclear Physics European Collaboration Committee, wypracowując trwałą i liczącą się pozycję polskich fizyków jądrowych wśród krajów europejskich.

Jego wszechstronna aktywność nagradzana była medalami i orderami, by wspomnieć tylko kilka: Medal Uniwersytetu Warszawskiego, Palmes Academiques, Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski.

Prof. Jerzy Jastrzębski należał do pionierów fizyki jądrowej w Polsce. Był wybitnym naukowcem o ogromnym dorobku, przekazującym swą wiedzę młodszym kolegom (wypromował kilkunastu doktorów), pomysłodawcą, organizatorem i budowniczym krajowej infrastruktury badawczej, organizatorem szerokiej współpracy naukowej. Każdej z tych aktywności oddawał się z ogromną pasją do ostatnich chwil.



WŁODZIMIERZ TOMCZAK

(5 marca 1942 r. - 24 sierpnia 2018 r.)



5 września br. pożegnaliśmy naszego kolegę Włodzimierza Tomczaka byłego pracownika i dyrektora Zakładu Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych (ZUOP)

Włodzimierz Tomczak urodził się 5 marca 1942 r. w Łodzi. Był absolwentem Wydziału Chemii Uniwersytetu Warszawskiego, który ukończył w 26 czerwca 1965 r.

Pracę w ZUOP rozpoczął w 1967 r. jako pracownik naukowy. Jego kariera naukowa została przerwana w czasie stanu wojennego (wówczas nastąpił podział JBJ i likwidacja Pracowni naukowej w ZUOP).

Od 1974 r. Włodzimierz Tomczak przebywał na rocznym stypendium w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Belgii w ośrodku Mol. Efektem tego pobytu było wdrożenie w ZUOP technologii oczyszczania ciekłych odpadów promieniotwórczych metodą sorbentów nieorganicznych. Technologia ta była stosowana w ZUOP ponad 25 lat.

W czasie gdy Włodzimierz Tomczak Kierował zakładem zrealizowano i rozpoczęto wiele prac wykonywanych w kooperacji z instytucjami zarówno w Polsce jak i zagranicznymi. Z dużych i kosztownych projektów należy wymienić budowę instalacji wyparnej (pomoc techniczna MAEA), budowę komory gorącej w ramach projektu PHARE, wywóz wypalonego paliwa jądrowego w ramach projektu GTRI finansowanego przez rząd USA.

Włodzimierz Tomczak jest współautorem kilku patentów będących efektem współpracy m.in. prof. dr hab. inż. Andrzejem Chmielewskim.

Włodzimierz Tomczak nie tylko był cenionym pracownikiem, ale też wyróżniał się dużą kulturą osobistą, i empatią w stosunku do ludzi niezależnie od ich pozycji zawodowej. Na początku swojej kariery zawodowej był wybierany głosami pracowników na męża zaufania.

W roku 1994 Włodzimierz Tomczak objął stanowisko dyrektora i pełnił je do czasu przejścia na emeryturę w 2010 r.

*Andrzej Cholerzyński,
Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych,
Otwock*



PROF. DR HAB. JERZY ŁOSKIEWICZ

(ur. 28.09.1929 w Kowlu, woj. wołyńskie, Polska,
zm. 11.07.2018 w Rockville, MD, USA)



Prof. dr hab. Jerzy Łoskiewicz ukończył studia na Wydziale Metalurgii Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie w 1954 r. oraz studia w zakresie fizyki w Uniwersytecie Jagiellońskim w roku 1960. W 1963 r. uzyskał tytuł doktora na Wydziale Matematyczno-Fizyczno-Chemicznym Uniwersytetu Łódzkiego (fizyka wysokich energii). Habilitację uzyskał na Uniwersytecie Jagiellońskim w 1970r. W roku 1980 otrzymał tytuł profesora zwyczajnego w zakresie fizyki.

Pracował m.in. we Francji (Uniwersytet Paris VI i Paris-Sud) oraz w Szwajcarii (CERN Theory Div.). Miał wybitne osiągnięcia w fizyce cząstek i zderzeń wysokich energii oraz zastosowania metod jądrowych dla celów przemysłowych i geofizycznych, a następnie także w dziedzinie rozpraszania neutronów termicznych i promieni gamma dla celów analizy odwiertów oraz zawartości węgla na taśmociągach zakładów energetycznych.

Wybitny fizyk, wieloletni pracownik Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie. Był wieloletnim kierownikiem Zakładu Fizyki Środowiska i Transportu Promieniowania IFJ PAN. Mentor i wychowawca wielu młodych fizyków, zamiłowany narciarz, dobry człowiek.

*Dyrekcja, Rada Naukowa i Pracownicy
Instytutu Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego,
Polskiej Akademii Nauk w Krakowie*

Warsztaty: Współczesne trendy w obróbce osadów pochodzących ze ścieków komunalnych

Warszawa, 27 sierpnia 2018 r.



(od lewej w pierwszym rzędzie): Mehran Vagheian (Iran), Nadia Zandi (UW ŚLCJ), Urszula Gryczka (IChTJ) Edyta Boguszewska (IUNG, Puławy), Dagmara Chmielewska-Śmietanko (IChTJ), Anna Jaszak (Biopolinex), Yongxia Sun (IChTJ)

(od lewej w drugim i trzecim rzędzie kolejno) Krzysztof Kępa (wodociągi, Legnica), Andrzej Dobrowolski (IChTJ), Krzysztof Skowron (UMK, Toruń), Grzegorz Gryń, Talis Juhna (RTU, Łotwa), nn., Maris Zviedris (Wodociągi, Łotwa), Suresh D. Pillai (A&M, Texas, USA), Marcin Sudlitz (IChTJ), Andrzej G. Chmielewski (IChTJ), Zbigniew Paluszak (UTP Bydgoszcz), Rob Edgecock The University of Huddersfield, UK) Michał Pietrzak (Biopolinex), Adam Kuryłowicz (SEP), Jacek Michalik (IChTJ), Andrzej Przywicz (Biopolinex), Janusz Usidus (SEP), Jacek Palige (IChTJ), Wojciech Głuszewski (IChTJ), Zbigniew Zimek (IChTJ)

PRELEGENCI PODCZAS WYSTĄPIEŃ NA WARSZTATACH



Prof. Suresh Pillai (Texas A & M, USA) wykrywanie mikroorganizmów patogenicznych w osadach komunalnych przed i po ich higienizacji



Prof. Rob Edgecock (The University of Huddersfield, UK) Produkcja nawozów organicznych z wykorzystaniem wiązki elektronów do ich higienizacji



Prof. Talis Juhna (Riga Technical University, Latvia), Wyniki analiz na obecność mikrobów w matrycach wodnych i stałych



Mgr inż. Marcin Sudlitz (IChTJ) Aspekty prawne dotyczące zawartości bakterii patogenicznych, jaj pasożytów oraz metali ciężkich w osadach pochodzących ze ścieków komunalnych



Dr. Krzysztof Skowron (UMK, Toruń) Higienizacja osadów ściekowych z wykorzystaniem wysoko-energetycznej wiązki elektronów

Gamma Factory

– nowy projekt badawczy w CERN



Widok Centrum sterowania CERN, gdzie operatorzy kontrolują LHC (fot: Maximilien Brice/CERN)



Doskonała precyzja detektora LHCb pozwoli fizykom wykonać szczegółowe pomiary podwójnie powabnych kwarków, które odkryli w zeszłym roku (fot.: M. Brice, J. Ordan/CERN)

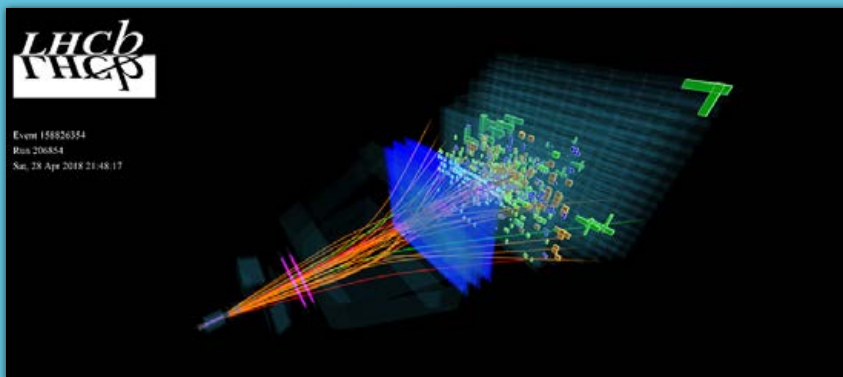
Eksperyment LHCb -poszukiwanie anomalii rozpadów barionów



Komora LHCb — 360°, widok podczas przerwy technicznej



Podczas specjalnego, jednodniowego eksperymentu operatorzy LHC wstrzykiwali do maszyny "atomy" ołowiu zawierające pojedynczy elektron (fot: Maximilien Brice / Julien Ordan / CERN)



Przypadek zderzenia zarejestrowany przez LHCb w dniu 28 kwietnia 2018 r., po oficjalnym rozpoczęciu tegorocznego zbierania danych (fot.: LHCb / CERN)