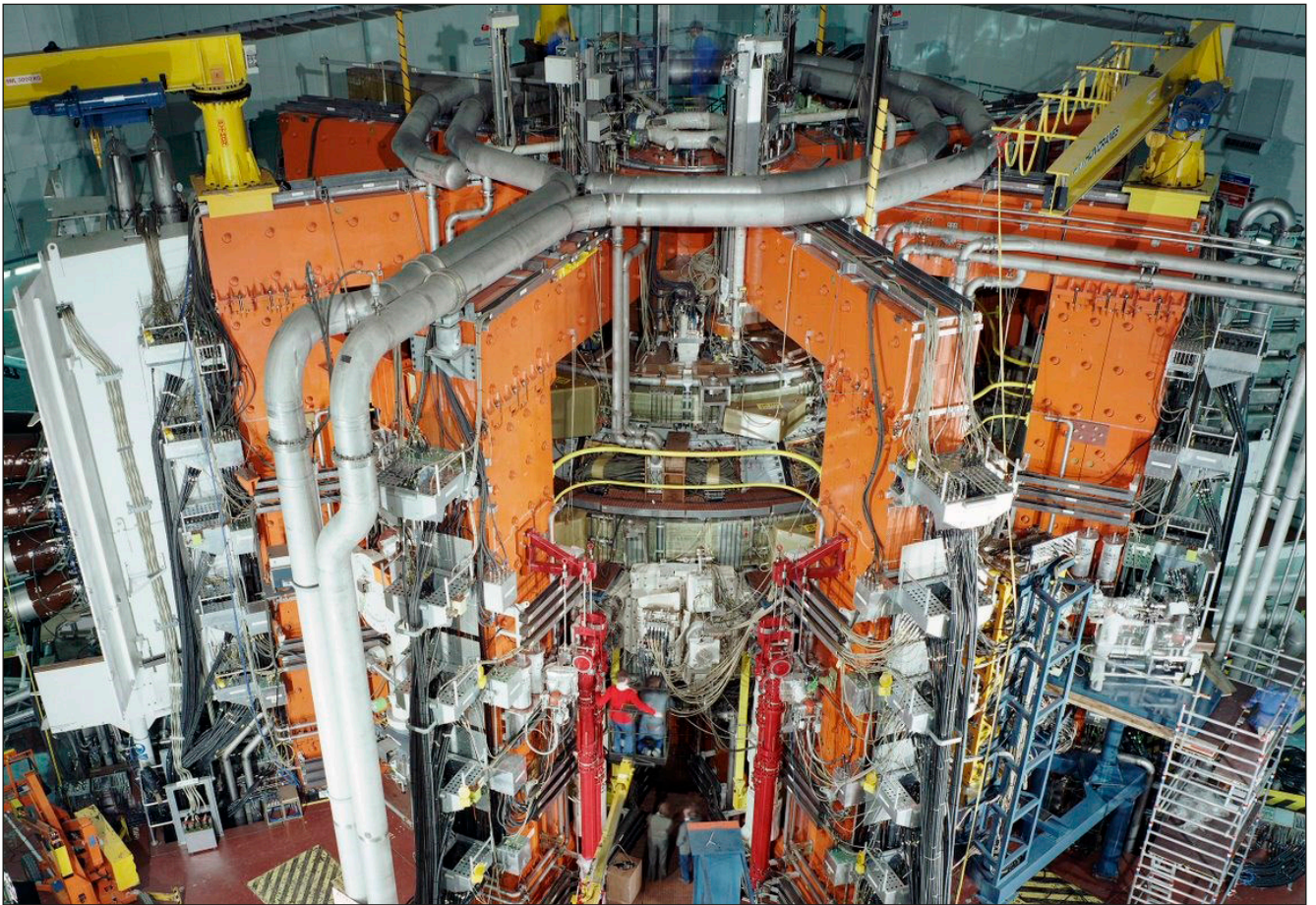


POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 63 Z. 2 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2020



Tokamak JET – Joint European Torus

czytaj na str. 2

2-2020

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI

BADANIA TERMOJĄDROWE W POLSCE: CZĘŚĆ 1 Andrzej Gałkowski, Monika Kubkowska	2
WYWIAD NUCNET-U Z PRZEDSTAWICIELEM FORATOM-U – YVES DESBAZEILLE. DLACZEGO EUROPA MUSI WŁĄCZYĆ ENERGIĘ JĄDROWĄ DO PLANOWANIA ENERGII NISKOEMISYJNEJ Yves Desbazeille – Kamen Kraev, David Dalton.....	12
ENERGETYKA JĄDROWA NA ŚWIECIE I W POLSCE W 2019 ROKU Andrzej Mikulski	18
NIEELEKTRYCZNE ZASTOSOWANIA ENERGII JĄDROWEJ – KOGENERACJA I WODÓR Józef Sobolewski.....	27
PET-MOF-CLEANWATER WSPÓLNY PROJEKT POLSKA-REPUBLIKA POŁUDNIOWEJ AFRYKI Bożena Sartowska	31
HIGIENIZACJA OSADÓW ŚCIEKOWYCH ZA POMOCĄ PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO. PRZYKŁADY INSTALACJI DO RADIACYJNEJ OBRÓBKI OSADÓW ŚCIEKOWYCH Marcin Sudlitz	35
DONIESIENIA Z KRAJU	41
DONIESIENIA ZE ŚWIATA	46
WYDARZENIA	48
FELIETON – NIE CZEKAJCIE NA ATOM! Marek Bielski	51
INFORMACJE O KSIĄŻKACH Gavin Hesketh: Cząstki elementarne	52
IN MEMORIAM ADAM GADOMSKI – WSPOMNIENIE.....	54
POŻEGNANIE PROF. DR HAB. NATALII GOLNIK.....	56



Kwartalnik naukowo-informacyjny
Postępy Techniki Jądrowej

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

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

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

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

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

Redakcja:
PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

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

Opracowanie graficzne:
Daniel Jaskóła (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.

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

Prenumerata
Zamówienia na prenumeratę kwartalnika
POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ
należy składać na adres redakcji jak wyżej.
Wpłaty proszę przekazać na konto:
Bank Pekao SA,
45 1240 3480 1111 0000 4278 2935
Koszt prenumeraty rocznej
(4 zeszyty łącznie z kosztami przesyłki) wynosi 52 zł.
Składając zamówienie należy podać adres osoby
lub instytucji zamawiającej, na który
ma być przesłane czasopismo oraz numer NIP.

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

Szanowni Państwo

We wstępie do poprzedniego numeru naszego czasopisma przytoczyłem wypowiedź pełnomocnika rządu ds. strategicznej infrastruktury energetycznej Piotra Naimskiego. Oto cytowane słowa pana ministra: „Decyzje w sprawie wyboru partnera w realizacji polskiego programu budowy energetyki nuklearnej powinny zapisać w ciągu najbliższych 10-12 miesięcy. Decyzje dotyczyć będą wyboru technologii, lokalizacji, ale przede wszystkim wyboru partnera, dlatego, że my potrzebujemy partnera dla tego programu, który będzie z nami budował te elektrownie, będzie z nami w fazie ich eksploatacji i pozostanie z nami aż do końca ich istnienia”.

W połowie maja media upowszechniły słowa innej ważnej osobistości, prezesa PGE Wojciecha Dąbrowskiego, wypowiedziane na Europejskim Kongresie Gospodarczym. Pan Prezes powiedział mianowicie — cytując za portalem cire.pl — „Spółka chce doprowadzić projekt atomowy do etapu uzyskania decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej, [...] Już dziś wiemy, że nie możemy sobie pozwolić na udźwignięcie jako docelowy inwestor projektu atomowego. Doprowadzimy projekt do etapu uzyskania decyzji środowiskowej i lokalizacyjnej” — powiedział prezes Dąbrowski.

Prezes PGE był też pytany, czy w planach grupy jest miejsce na atom. „Jestem zwolennikiem budowy elektrowni jądrowej. Powinna ona powstać i pracować w podstawie, by zastąpić w przyszłości wyłączane aktywa węglowe. Na taką inwestycję potrzeba jednak ogromnych pieniędzy z zewnątrz, a także partnera, który zapewni technologię. Dlatego PGE nie będzie inwestorem w projekcie atomowym” — oświadczył Dąbrowski.

Nie są to słowa optymistyczne. Uzasadnione jest więc pytanie: czy my możemy zrobić? My, czyli środowiska atomistyczne, stowarzyszenia jądrowe, pracownicy instytutów atomistyki.

Pani prof. Grażyna Zakrzewska, prezes Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego odpowiada na to pytanie następująco: „To, co jest naszym statutowym celem: edukacja, szkolenia, informacja, czyli to, co funkcjonuje w Europie, jako ETI, z dobrym skutkiem, w wielu dziedzinach. A praktycznie: można wysłać list do decydentów i jeszcze raz użyć starych argumentów, wskazując na zyski ekonomiczne i środowiskowe energetyki jądrowej, próbować znowu dotrzeć do zaprzyjaźnionych polityków i dziennikarzy i edukować!! Myślę, że szefowa naszego współwydawcy ma rację.

Pierwszy artykuł w bieżącym numerze dotyczy BADAŃ TERMOJĄDROWYCH W POLSCE. Autorami artykułu są Andrzej Gałkowski i Monika Kubkowska. W publikowanym tekście przedstawiona została panorama badań termojądrowych w Polsce, na tle badań we Wspólnocie EURATOM i na całym świecie. Ukazana została rola Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie jako organizatora i koordynatora tych badań oraz reprezentanta Polski w europejskim konsorcjum EUROfusion. W drugiej części artykułu, który opublikowany będzie w kolejnym numerze PTJ, zostanie przedstawiony wkład Polski do europejskiego i światowego programu opanowania fuzji jądrowej na potrzeby energetyki termojądrowej — jako nowego, wydajnego, bezpiecznego dla społeczeństwa i przyjaznego dla środowiska źródła energii elektrycznej.

27 maja 2020 r., kiedy piszę te słowa, agencja World Nuclear News opublikowała informację FORATOMU, w której napisano: Foratom said today it „regrets” that the European Commission has ignored the need for nuclear power as a clean, dispatchable and European source of energy in its green recovery plan published today. PTJ publikuje w tym numerze wcześniejszy wywiad z szefem Foratom Yves Desbazeille przeprowadzony przez dziennikarzy NucNetu właśnie na temat, DLACZEGO EUROPA MUSI WŁĄCZYĆ ENERGIĘ JĄDROWĄ DO PLANOWANIA ENERGII NISKOEMISYJNEJ. Zachęcam Czytelników do lektury tego ciekawego materiału.

ENERGETYKA JĄDROWA NA ŚWIECIE I W POLSCE W 2019 ROKU. Taki jest tytuł kolejnego artykułu, którego autorem jest Andrzej Mikulski. Artykuł przedstawia przegląd dokonany w energetyce jądrowej na świecie w 2019 r. z rozdziałem wskazującym na niewielki postęp w tej dziedzinie w Polsce. Liczba reaktorów na świecie zmalała do 443 bloków, przy czym włączono 6 nowych bloków i wyłączono 13 starych bloków. Ogólna ich moc zainstalowana zmalała do 391,4 GWe z 396,6 MWe w 2018 r. Prowadzone są prace przy budowie 52 bloków jądrowych w 14 krajach, a nowe inwestycje rozpoczęły się tylko w 3 krajach po jednym bloku. Według zapowiedzi w 2020 r. ma być uruchomionych na świecie 10 nowych bloków. Prace w Polsce koncentrowały się głównie na przedłużających się studiach nad raportami środowiskowym i lokalizacyjnym prowa-

dzonymi na zlecenie PGE EJ 1 w dwóch wybranych lokalizacjach. Poza tym rozpoczęły się prace, głównie analityczne, nad wysokotemperaturowym reaktorem chłodzonym gazem (HTGR).

NIEELEKTRYCZNE ZASTOSOWANIA ENERGII JĄDROWEJ – KONGENERACJA I WODÓR, to tytuł artykułu Józefa Sobolewskiego. W artykule autor przedstawia zastosowania energetyki jądrowej wykraczające poza generację energii elektrycznej. Przekonuje, że technologia reaktorów wysokotemperaturowych otwiera możliwości zastosowania jej w przemyśle do wytwarzania pary przemysłowej oraz w dalszej kolejności do produkcji paliwa przyszłości – wodoru.

PET-MOF-CLEANWATER, WSPÓLNY PROJEKT POLSKA – REPUBLIKA POŁUDNIOWEJ AFRYKI. Projekt pod takim tytułem opisuje Bożena Sartowska. Celem projektu jest wytworzenie nowych zaawansowanych materiałów adsorbujących na bazie porowatych metaloorganicznych polimerów koordynacyjnych (sorbenty typu MOF) z wykorzystaniem odpadów PET. Uzyskano pozytywne wyniki badań laboratoryjnych.

Ostatni tekst w części artykułowej niniejszego numeru poświęcony jest HIGIENIZACJI OSADÓW ŚCIEKOWYCH ZA POMOCĄ PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO. Autorem artykułu jest Marcin Sudlitz. Oto fragment streszczenia tej publikacji. W ciągle rozwijającym się świecie i co za tym idzie zwiększającej się liczbie ludności problem powstawania ogromnych ilości osadów ściekowych w ciągu roku stanowi coraz poważniejszy problem. Jednym z możliwych sposobów zagospodarowania tych kłopotliwych odpadów jest wykorzystanie rolnicze, jednak przedtem należy pozbyć się patogenów, jakimi są szkodliwe bakterie i jaja pasożytów obecne w ściekach. Higienizację osadów ściekowych można przeprowadzić za pomocą promieniowania jonizującego. Na świecie zbudowana została pewna ilość instalacji do napromieniowywania osadów ściekowych, m.in. w Indiach, Niemczech, USA czy Korei Południowej. Szczegóły w artykule.

Drugą część omawianego zeszytu PTJ otwiera informacja na temat planowanej na jesień wielkiej konferencji na temat energetyki jądrowej: „Nuclear Energy: Challenges and Prospects”. Konferencja ma się odbyć w Soczi.

Pani Aneta Maszewska przedstawia nowy europejski program na rzecz badań i innowacji, który będzie nosił nazwę Horyzont Europa i będzie programem o największym, jak do tej pory, budżecie. Krzysztof Fornalski omawia w Dziale doniesień KRAJOWE WARSZTATY NA TEMAT PROJEKTU SYSTEMU MONITOROWANIA OCHRONY PRZED PROMIENIOWANIEM DLA ELEKTROWNI JĄDROWEJ, a Małgorzata Nowina-Konopka opisuje uroczystość ODNOWIENIA PO 50. LATACH DOKTORATU PROF. ANDRZEJA SZYTUŁY. Jako doniesienie ze świata znajdują Państwo informację z raportu Międzynarodowej Agencji Energii zatytułowanego GLOBALNY PRZEGLĄD ENERGII 2020 na temat: WPŁYW KRYZYSU COVID-19 NA ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ I EMISJĘ CO₂. W części kwartalnika poświęconej prezentacji ważnych wydarzeń publikujemy informację o pożarach w czarnobylskiej Strefie Wykluczenia, odznaczeniu prof. Andrzeja Kułakowskiego Orderem Orła Białego oraz przypominamy wizytę delegacji PAA u Papieża Jana Pawła II. Tą ostatnią informacją chcemy nawiązać do obchodzonego w Polsce Roku św. Jana Pawła II.

W bieżącym numerze PTJ otwieramy kolejny dział naszego czasopisma. Pan redaktor Marek Bielski, znany dziennikarz i publicysta mediów technicznych, zgodził się przygotowywać dla nas felietony na aktualne tematy. W tym numerze publikujemy pierwszy jego felieton pod tytułem: NIE CZEKAJCIE NA ATOM! Miłej lektury!

W dziale „Informacje o książkach” Krzysztof Rzymkowski omawia ważną książkę CZĄSTKI ELEMENTARNE.

Podobnie jak w niemal każdym numerze naszego czasopisma publikujemy informacje/wspomnienia o Zmarłych. Tym razem wspominamy p. prof. Natalię Golnik i mojego bliskiego Kolegę dr. Adama Gadomskiego. I zachęcamy Państwa do obejrzenia zdjęć na okładkach naszego czasopisma.

Na koniec, jak co kwartał, moje życzenia: życzę Państwu — po pełnej ograniczeń, epidemicznej wiosnie, pięknego, spokojnego lata. I oby piękne, zielone lato spowodowało ostateczne odejście koronawirusa!

redaktor naczelny,
Stanisław Latek

BADANIA TERMOJĄDROWE W POLSCE: CZĘŚĆ 1.

Thermonuclear Research in Poland: part 1.

Andrzej Gałkowski, Monika Kubkowska

Streszczenie: Przedstawiona została panorama badań termojądrowych w Polsce, na tle badań we Wspólnocie EURATOM i na całym świecie. We wstępie przedstawiono genezę tych badań i ich początki. Przedstawiona została rola Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie jako organizatora i koordynatora tych badań oraz reprezentanta Polski w europejskim konsorcjum EUROfusion. Na gruncie krajowym realizatorem programu jest Centrum naukowo-przemysłowe Nowe Technologie Energetyczne (CeNTE), skupiające 16 podmiotów: instytutów badawczych, instytutów PAN, uczelni oraz Wrocławski Park Technologiczny. W drugiej części artykułu zostaną przedstawione dokonania CeNTE będące wkładem Polski do europejskiego i światowego programu opanowania fuzji jądrowej na potrzeby energetyki termojądrowej – jako nowego, wydajnego, bezpiecznego dla społeczeństwa i przyjaznego dla środowiska źródła energii elektrycznej.

Abstract: The authors presented an overview of thermonuclear research in Poland in comparison with the research performed in the EURATOM Community and all over the world. The introduction depicts the origin of these studies and their beginnings. The role of the Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion in Warsaw was presented as the organizer and coordinator of this research and the Polish representative in the European consortium EUROfusion. On the national level, the scientific and industrial Centre New Energy Technologies (CeNET) implements the program through bringing together 16 entities, namely research institutes, institutes of the Polish Academy of Sciences, universities and the Wrocław Technology Park. The second part of the article will be devoted to the achievements of CeNET as Poland's contribution to the European and global program to contain nuclear fusion for the purposes of thermonuclear energy as a new and efficient source of electricity that is safe for society and environmentally friendly.

Słowa kluczowe: fuzja jądrowa, fizyka plazmy, energetyka termojądrowa, W7-X, JET, ITER, CeNTE

Keywords: nuclear fusion, plasma physics, thermonuclear energy, W7-X, JET, ITER, CeNTE

Wstęp – geneza i cele badań nad energetyką termojądrową na świecie i w Polsce

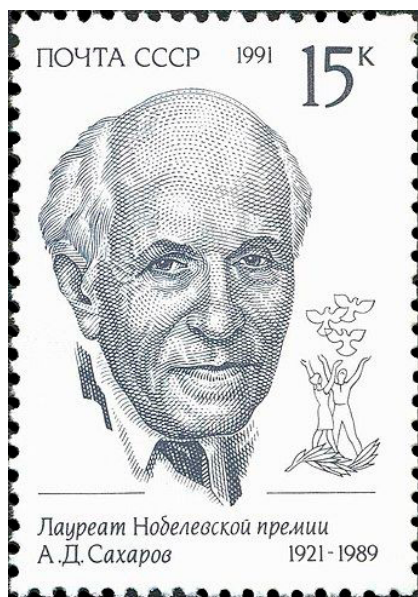
Wybitny astrofizyk Arthur Stanley Eddington jako pierwszy, już w 1920 r., wysunął hipotezę mówiącą, że źródłem energii Słońca jest reakcja termojądrowa. W roku 1938 niemiecki fizyk Hans Bethe opisał sześć reakcji termojądrowych wykorzystujących m.in. wodór, które jego zdaniem miały zachodzić na Słońcu i być źródłem jego energii. Nikt wówczas nawet nie myślał o wykorzystaniu tego zjawiska do celów praktycznych. Możliwość przeprowadzenia reakcji termojądrowej na Ziemi, od czasów opisanego jej przez Bethego, za co w 1967 r. dostał Nagrodę Nobla, wydawała się początkowo nie do zrealizowania. Podczas II wojny światowej naukowcy pracowali głównie nad procesami rozczepienia jąder uranu, aby następnie reakcję tę wykorzystać do celów militarnych. Dopiero w 1941 r. Tokutaro Hagiwara z Uniwersytetu w Kyoto przedstawił pomysł zainicjowania syntezy termojądrowej przez wybuch bomby atomowej. Wtedy to badania nad syntezą termojądrową, choć z niskim priorytetem, zostały włączone do „Projektu Manhattan”. Pracami nad wykorzystaniem zjawiska fuzji termojądrowej, początkowo do budowy bomby wodorowej, zajmował się m.in. amerykański fizyk jądrowy Edward Teller. W połowie 1944 r. stanął on na czele grupy naukowców,

którzy mieli za zadanie opracowanie sposobu praktycznego wykorzystania reakcji syntezy lekkich jąder. Człowiekiem, który wniósł duży wkład do prac, nad budową bomby wodorowej był polski matematyk, Stanisław Ulam. Jego prace teoretyczne i współpraca z Tellerem zaowocowały tym, że w kwietniu 1951 r. przystąpiono do właściwych prac nad projektowaniem i testowaniem bomb wodorowych.

Koncepcje urządzeń do przeprowadzenia kontrolowanej reakcji termojądrowej pojawiły się na początku lat 50. ubiegłego wieku i były utrzymywane w tajemnicy ze względu na to, że w czasach zimnej wojny państwa uczestniczące w tych badaniach miały nadzieję na zdobycie przewagi ekonomicznej nad przeciwnikiem zza żelaznej kurtyny.

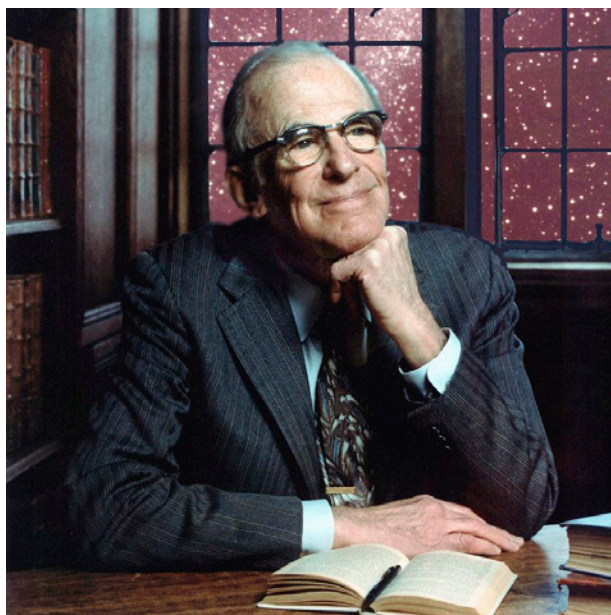
Jednym z pierwszych pomysłów był tokamak (z ros. Toroidalna Kamiera s Magnitnymi Katuszkami). Twórcy tej idei – Igor Tamm i Andriej Sacharow – zainspirowani listem Olega Ławrentiewa, żołnierza Armii Czerwonej, wpadli na pomysł zamknięcia plazmy w pułapce magnetycznej o kształcie torusa, w którym płynący prąd miałby podgrzewać zjonizowany gaz. Drugim urządzeniem, które byłoby w stanie utrzymać rozgrzaną do milionów stopni plazmę, był stellarator,

którego koncepcję opracował Lyman Spitzer. Pierwsze urządzenie tego typu zostało wybudowane w 1951 r. w Princeton Plasma Physics Laboratory w Stanach Zjednoczonych. Zmiana w rozwoju badań nad kontrolowaną syntezą jądrową nastąpiła w 1956 r., kiedy to podczas wizyty w Wielkiej Brytanii Igor Kurczatow wygłosił wykład na temat fuzji jądrowej i osiągnięć fizyków radzieckich w jej opanowaniu, zapoczątkowując jednocześnie międzynarodową wymianę doświadczeń w tej dziedzinie.



Fot. 1. Andrej Sakharov (1921-1989) na znaczku wydanym w ZSRR w roku 1991 (fot. Wikipedia)

Photo 1. Andrei Sakharov (1921-1989) on the USSR stamp issued in 1991 (photo: Wikipedia)



Fot. 2. Lyman Spitzer (1914-1997; fot. Wikipedia)

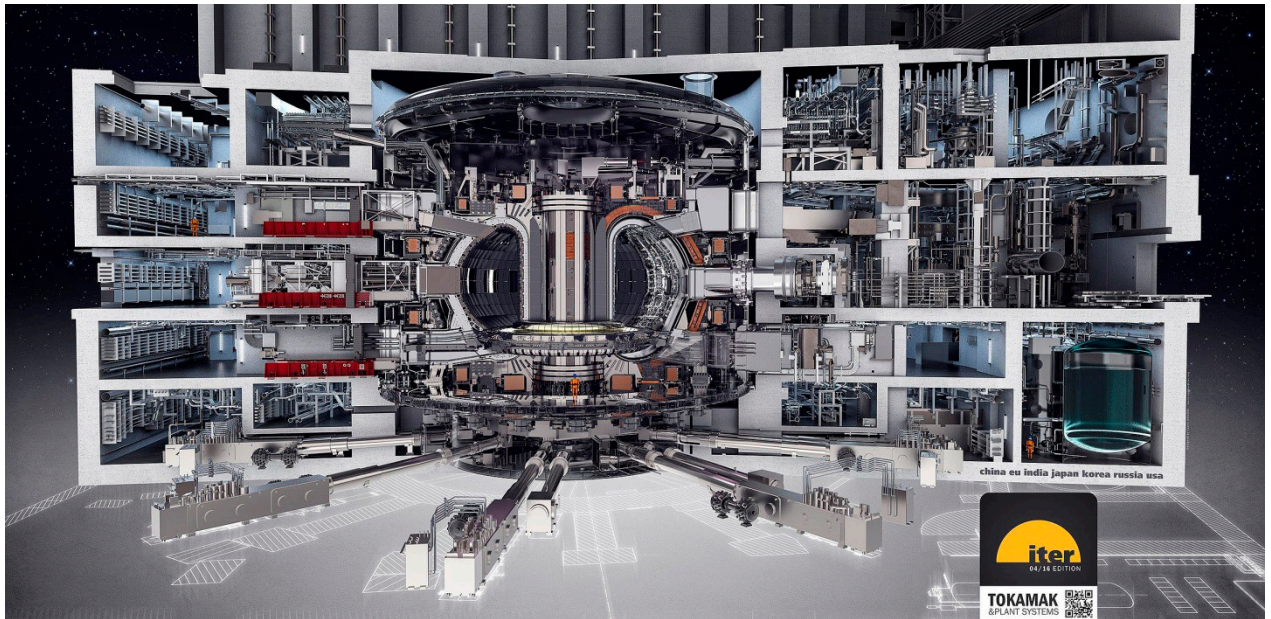
Photo 2. Lyman Spitzer (1914-1997; photo: Wikipedia)

29 lipca 1957 r. została powołana do życia Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej, która jako agenda ONZ miała za zadanie organizowanie i nadzorowanie prac nad pokojowym wykorzystaniem energii atomowej. Na konferencji „Atom dla pokoju”, która odbyła się w Genewie w roku 1958, badania nad pokojowym wykorzystaniem fuzji na potrzeby energetyki zostały we wszystkich krajach zgodnie odtajnione i od tego czasu zaczęła się era międzynarodowej współpracy w tym zakresie.

Należy zaznaczyć, że podstawowym zadaniem zarówno tokamaka, jak i stellaratora było i jest uwolnienie większej ilości energii, niż jest do niego dostarczone, co wiąże się z odpowiednio długim czasem utrzymania plazmy, aby duża liczba cząsteczek deuteru i trytu zdążyła ze sobą przereagować. Przełomem były wyniki uzyskane na radzieckim tokamaku T-3 (potwierdzone przez naukowców brytyjskich), co światu zostało ogłoszone w roku 1968, na konferencji w Nowosybirsku. W 1978 r. ruszyła w Wielkiej Brytanii budowa tokamaka JET (Joint European Torus), największego istniejącego obecnie, eksperymentalnego urządzenia tego typu. JET osiągnął wytyczone mu cele, a środowiska europejskie doprowadziły do powstania w 1999 r. organizacji EFDA (European Fusion Development Agreement), która miała za zadanie koordynację europejskich działań w dziedzinie badań nad fuzją jądrową.

Szereg eksperymentów przeprowadzonych w latach osiemdziesiątych minionego wieku pokazało, że aby uzyskać dodatni bilans energetyczny, konieczne jest zbudowanie reaktora znacznie większego niż JET. W roku 1985, na spotkaniu w Genewie, Michaił Gorbaczow zaproponował ówczesnemu prezydentowi Stanów Zjednoczonych, Ronaldowi Reaganowi, opanowanie fuzji termojądrowej do celów pokojowych we wspólnym przedsięwzięciu polegającym na wybudowaniu doświadczalnego reaktora International Thermonuclear Experimental Reaktor (ITER, z łac. droga). Rok później osiągnięto porozumienie na ten temat, z udziałem Wspólnoty Euratom, Japonii i Stanów Zjednoczonych (w późniejszym czasie do projektu dołączyła także Korea Południowa, Indie i Chiny). Obecnie śmiało można powiedzieć, że ludzkość jest bardzo blisko ujarznienia niewyczerpalnego źródła energii użytecznej (energii o niskiej entropii), jakim jest energia termojądrowa. W Europie w 2013 r. została opracowana „Mapa Drogowa fuzji” (uaktualniona w 2018 r.), która określa kamienie milowe niezbędne na drodze do osiągnięcia tego ambitnego, ale i realnego celu, jakim jest uruchomienie pierwszej elektrowni termojądrowej.

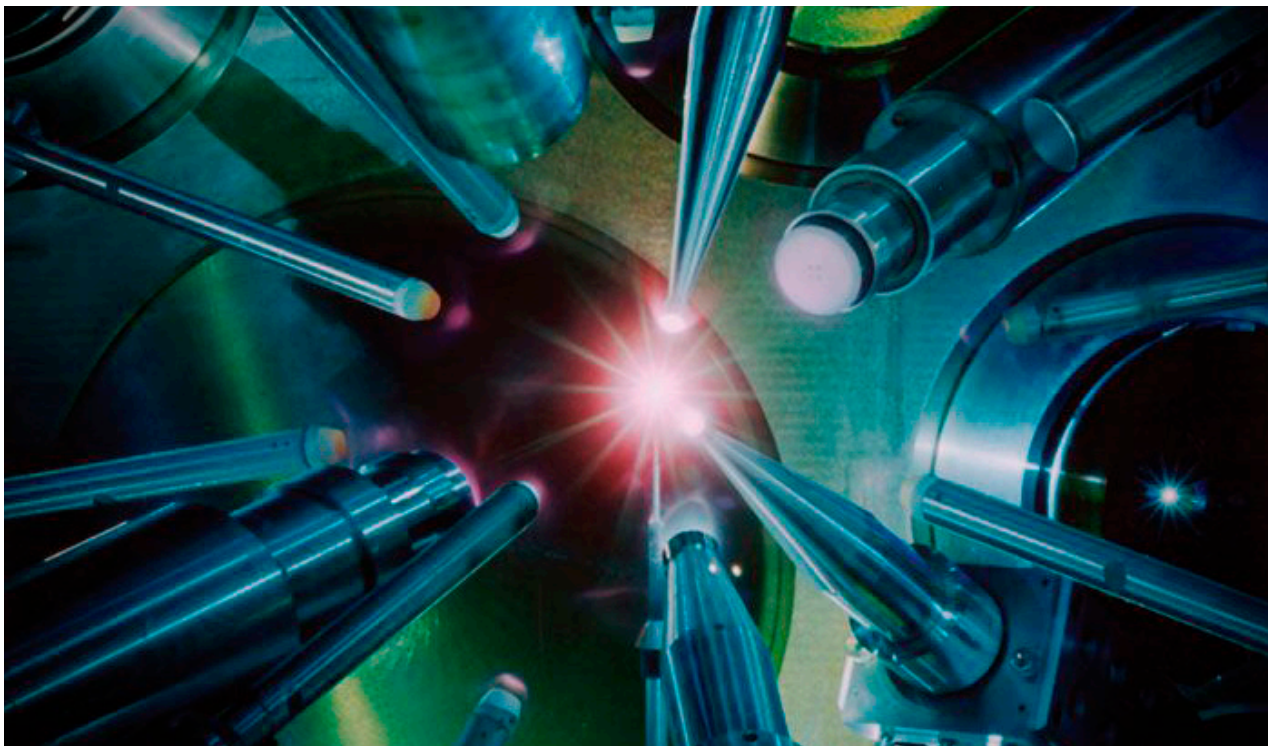
Omawiana dotychczas metoda dotyczyła fuzji magnetycznej (MCF – Magnetic Confinement Fusion),



Fot. 3. Termojądrowy reaktor badawczy ITER (fot. Wikipedia)
Photo 3. Thermonuclear Experimental Reactor ITER (photo: Wikipedia)

a więc plazmy utrzymywanej w pałapkach magnetycznych. W latach sześćdziesiątych ubiegłego wieku naukowcy Nikołaj Basow i John Dawson zwrócili uwagę na możliwość wykorzystania laserów do nagrzewania plazmy w bardzo krótkim czasie. Pierwszy raz tzw. mikrosyntezę przeprowadzono w 1970 r. w Związku Radzieckim. Od tamtej pory prace nad laserową fuzją termojądrową prowadzone były także w innych

ośrodkach naukowych na całym świecie, w tym również w Polsce. Energia w fuzji laserowej (z ang. ICF – Inertial Confinement Fusion) wyzwalana jest poprzez zogniskowanie na deuterowo-trytowym celu (tarczy) wiązek laserów impulsowych o dużej mocy. Przełomem w rozwoju badań nad laserową fuzją inercyjną była propozycja zastosowania tzw. szybkiego zapłonu paliwa deuterowo-trytowego, sferycznie skompri-



Fot. 4. National Ignition Facility (fot. Lawrence Livermore National Laboratory)
Photo 4. National Ignition Facility (photo: Lawrence Livermore National Laboratory)

mowanego impulsem laserowym. Metoda ta polega na nielokalnym zapłonie wstępnie skompresowanej plazmy deuterowo-trytowej, jeszcze przed rozwinięciem się niestabilności hydrodynamicznych, przez dodatkowe dostarczenie energii za pomocą impulsu innego lasera wielkiej mocy, bądź też impulsu szybkich elektronów lub jonów przyspieszanych takim laserem (bądź, też za pomocą fali uderzeniowej generowanej także impulsem laserowym). Te idee syntezy termojądrowej przez wiele lat były intensywnie rozwijane i studiowane, co w obecnych czasach zaowocowało powstaniem projektów, mających na celu budowę wielkich instalacji laserowych. I tak we Francji istnieje projekt LMJ (Laser Mégajoule), a w Stanach Zjednoczonych projekt NIF (National Ignition Facility).

Te nowoczesne systemy laserowe, obok wykorzystania ich do sprawdzenia wydajności syntezy inercyjnej, będą miały także zastosowanie do badań oddziaływań intensywnego promieniowania laserowego z materią w innych dziedzinach nauki i techniki, takich jak: fizyka relatywistyczna, fizyka materii w stanach ekstremalnych, astrofizyka, terapia nowotworowa i inne.

Głównym ośrodkiem w kraju, który zajmuje się badaniami związanymi z fizyką plazmy i fuzją jądrową jest Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie (IFPiLM). IFPiLM powstał w roku 1976 jako jednostka badawczo-rozwojowa podległa ówczesnemu Ministerstwu Nauki, Szkolnictwa Wyższego i Techniki. W latach 1987-1992 podlegał ministrowi obrony, a w latach 1993-2000 prezesowi Państwowej Agencji Atomistyki. Od roku 2001 Instytut podlegał ministrowi gospodarki, a następnie ministrowi rozwoju. Obecnie nadzór nad Instytutem sprawuje minister właściwy ds. energii. Należy podkreślić, że badania w tym obszarze zaczęły się wcześniej, przed powstaniem IFPiLM, w ówczesnym Instytucie Badań Jądrowych (IBJ) i w Wojskowej Akademii Technicznej. Badania rozpoczęte w IBJ kontynuowane są do dzisiaj w Narodowym Centrum Badań Jądrowych.

W historii IFPiLM i badań w nim prowadzonych należy wyróżnić trzy okresy – do roku 1990, od roku 1991 do roku 2004 i od roku 2005 do dzisiaj. W tym pierwszym okresie Instytut prowadził badania dotyczące układów typu *plasma focus* – PF (we współpracy z IBJ), oddziaływania promieniowania laserowego z materią oraz kompresji plazmy za pomocą klasycznych materiałów wybuchowych. We współpracy z Instytutem Fizyki im. Lebedewa w Moskwie prowadzone były wówczas prace dotyczące sferycznej kompresji plazmy za pomocą strumieni promieniowania laserowego. W drugiej połowie lat 90. IFPiLM współpracował też z Instytutem Energii Atomowej im. Kurczatowa. Współpraca dotyczyła rozwoju diagnostyk (interfero-

metrii laserowej, spektroskopii rentgenowskiej, spektrometrii neutronów, spektroskopii widzialnej i VUV) dla radzieckiego tokamaka T-15 (wówczas w budowie). Instytut zajmował się też rozwojem laserów na ciele stałym i laserów gazowych oraz systemami do generacji wiązek jonów i wiązek elektronów.

Drugi okres w historii Instytutu rozpoczął się w roku 1991, co zbiegło się z przemianami politycznymi w Polsce. Zmiany organizacyjne w IFPiLM i polityczne w kraju spowodowały, że od tego roku zakres działania Instytutu został zawężony do badania fizyki plazmy w układach typu *plasma focus* (PF) oraz badania oddziaływania promieniowania laserowego z materią. Nadal rozwijane były systemy laserowe na szkło neodymowym, systemy zasilania dużej mocy oraz diagnostyki zjawisk w plazmie wysokotemperaturowej o krótkiej skali czasu i względnie małej (w porównaniu z plazmą w tokamakach i stellaratorach) skali przestrzennej (chodzi o skale charakterystyczne dla plazmy laserowej i plazmy w układach PF).

Badania w dziedzinie fuzji termojądrowej nabrały w Polsce większego rozmachu w roku 2004 wraz z przystąpieniem Polski do Europejskiej Wspólnoty Energii Atomowej – Euratom. Celem tej organizacji jest europejska współpraca w dziedzinie rozwoju technologii jądrowych. Wejście polskich instytucji naukowych w struktury Euratomu stało się wielką szansą dla naukowców polskich w zakresie dostępu do europejskich urzędzeń i ośrodków badawczych oraz funduszy przeznaczonych na wspieranie badań. Wiele polskich jednostek naukowych zaangażowanych jest w międzynarodowe projekty zarówno związane z syntezą wykorzystującą magnetyczne utrzymanie plazmy (MCF), jak i z fuzją laserową (ICF). Udział w tych badaniach daje polskiej nauce szansę na wzmocnienie swojej pozycji w Europie i na świecie.

Rola fuzji jądrowej w krajowych i unijnych projektach naukowo-badawczych dotyczących nowych źródeł energii

Międzynarodowa Agencja Energii prognozuje, że do roku 2030 światowe potrzeby energetyczne wzrosną o 50%, a rosnące zapotrzebowanie będzie zaspokajane głównie poprzez uzyskiwanie energii ze spalania paliw kopalnych, co wpływa niekorzystnie na środowiska naturalne i powoduje zmiany klimatyczne. Konieczność ograniczenia spalania paliw kopalnych w zestawieniu ze wzrostem zapotrzebowania na energię niezbędną do tego, aby miliardy ludzi wyprowadzić ze stanu ubóstwa, jest ogromnym wyzwaniem. Nie istnieje proste rozwiązanie tej kwestii. Światowa odpowiedź na ten problem musi obejmować rozwój i wdrożenie pakietu zupełnie nowych

lub ulepszonych sposobów na zmniejszenie zużycia energii, bądź znalezienie nowych źródeł dostarczających energię użyteczną w sposób bezpieczny dla środowiska.

Przewiduje się, że w drugiej połowie obecnego stulecia zapotrzebowanie na energię elektryczną osiągnie poziom 10 TW mocy, z czego większość będzie musiała być uzyskiwana ze źródeł bezemisyjnych (chodzi o emisję dwutlenku węgla – CO₂). Międzynarodowa Agencja Energii w Paryżu prognozuje, że do 2024 r. moc odnawialnych źródeł energii użytecznej wzrośnie do poziomu 3,7 TW, w porównaniu z 2,5 TW w roku 2018. Globalne zapotrzebowanie na energię wzrośnie do roku 2040 dwukrotnie, w porównaniu z rokiem 2015 – z 21 tys. TWh w roku 2015 do ponad 40 tys. TWh w roku 2040. (W Polsce: 220 TWh w roku 2050, obecnie 148 TWh). Ale to nie jest tylko kwestia zwiększonego zapotrzebowania na energię i niezależności energetycznej – to jest także kwestia takiego sposobu wytwarzania energii elektrycznej, który nie jest związany z emisją do atmosfery gazów cieplarnianych (obecnie 1/3 emisji dwutlenku węgla przypada na elektrownie opalane węglem). Długoterminowym celem porozumień klimatycznych (protokół z Kioto, Porozumienie Paryskie) jest utrzymanie wzrostu średniej temperatury na świecie istotnie niższego niż 2°C powyżej poziomu sprzed epoki przemysłowej. Do 2050 r. należy obniżyć emisję dwutlenku węgla do poziomu 550 ppm – tylko dwa razy większego od poziomu emisji przed początkiem ery przemysłowej (zgodnie z porozumieniem paryskim do roku 2030 globalne zużycie węgla musi spaść o 80% w porównaniu z poziomem z roku 2010). To oznacza, że do tego czasu trzeba zbudować elektrownie (nieemitujące CO₂) o łącznej mocy 20 TW (moc produkowana obecnie to 13 TW). Według amerykańskiego Departamentu Energii nie istnieje jeszcze technologia, która samodzielnie może spełnić takie wymagania.

Istotnym elementem pakietu energetycznego w przyszłości będzie fuzja jądrowa, która jest w stanie zapewnić dostatecznie duże ilości energii elektrycznej (praktycznie nieograniczone), przy tym będzie źródłem bezpiecznym, dostępnym w każdym punkcie kuli ziemskiej i niepowodującym emisji gazów cieplarnianych do atmosfery.

Tokamaki JET (w Europie) i TFTR (w USA) pokazały, że produkcja energii na drodze syntezy lekkich jąder jest możliwa (osiągnięto moc 16 MW w JET i 11 MW w TFTR). Pytanie jest tylko takie: czy i kiedy jesteśmy w stanie opracować technologię, która pozwoli produkować energię elektryczną z syntezy na skalę przemysłową, a energetyka termojądrowa będzie ekonomicznie opłacalna?

21 listopada 2006 r. zostało w Paryżu podpisane porozumienie dotyczące projektu ITER – budowy i eksploatacji eksperymentalnego reaktora termojądrowego kolejnej generacji. Udziałowcami projektu ITER, jak już to zostało wcześniej wspomniane, są: Unia Europejska, Japonia, USA, Rosja, Chiny, Indie i Korea Południowa. Siedmiu partnerów zdecydowało, że ITER zlokalizowany będzie w Cadarache, małej miejscowości na południu Francji, w pobliżu Aix-en-Provence. ITER będzie kolejnym krokiem na drodze do opanowania nowego źródła uwolnionej energii – syntezy lekkich jąder.

Celem projektu ITER jest zademonstrowanie naukowej i technicznej realności fuzji jądrowej jako źródła energii użytecznej do celów pokojowych. Urządzenie powinno osiągnąć stan intensywnego spalania paliwa deuterowo-trytowego, ze współczynnikiem wzmocnienia co najmniej 10 w warunkach pracy impulsowej (indukcyjne wzbudzenie prądu w plazmie), oraz stan kwazistacjonarny z nieindukcyjnym wzbudzeniem prądu i współczynnikiem wzmocnienia 5. Nie wyklucza się osiągnięcia stanu zapłonu. Z technicznego punktu widzenia przetestowane zostaną komponenty reaktora, w tym cewki nadprzewodnikowe, systemy zdalnej obsługi oraz systemy odprowadzania energii i masy (popiołu helowego) z przestrzeni reaktora. W Europie uruchomiony jest jeden tokamak z cewkami nadprzewodnikowymi (WEST, wcześniejszy Tore Supra, w Cadarache, Francja). Trzy inne tokamaki badające stany kwazistacjonarne w urządzeniach z cewkami nadprzewodnikowymi zostały zbudowane w krajach azjatyckich (JT-60SA w Japonii, SST-1 w Indiach, EAST w Chinach i KSTAR w Korei).

Środek ciężkości badań i rozwoju w zakresie fuzji przesunął się obecnie z badań fizyki plazmy (bardzo gorącego gazu), w której następuje reakcja fuzji, w kierunku technologii niezbędnych do działania elektrowni, a także do opracowania materiałów odpornych na ekstremalne warunki panujące we wnętrzu reaktora. W związku z tym następny zaplanowany krok to budowa Międzynarodowego Urządzenia do Badania Materiałów (IFMIF – International Fusion Materials Irradiation Facility).

Oczekuje się, że ITER będzie generował co najmniej 500 MW mocy pochodzącej z procesu fuzji. W roku 2008 Wspólnota Euratom wspólnie z partnerami porozumienia z roku 2006, rozpoczęły jego budowę we Francji. Niedawno UE i Japonia zgodziły się co do tego, że należy rozpocząć realizację ostatniej fazy badań i rozwoju oraz projektu inżynierskiego urządzenia IFMIF. Konstrukcja ITER-a powinna zająć jeszcze około 5 lat, a urządzenia IFMIF 10 lat. (Wspólnota Euratom zamierza zbudować w krótszym czasie mniejsze urządzenie DONES, służące do tego samego celu – charak-

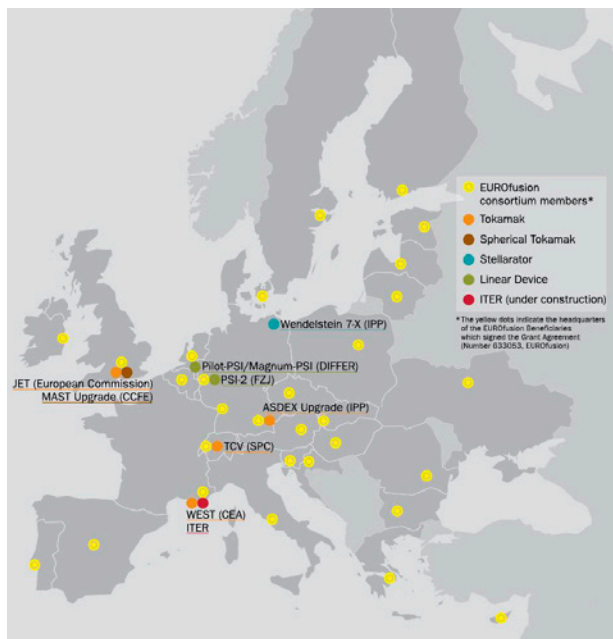
teryzacji materiałów dla fuzji). Po otrzymaniu pierwszych wyników z obu tych urządzeń (szacuje się, że nastąpi to po mniej więcej ośmiu latach ich działania), będzie możliwe rozpoczęcie budowy pierwszej prototypowej elektrowni termojądrowej DEMO.

Organizacja europejskich badań w dziedzinie fuzji jądrowej

Celem badań naukowych i prac badawczo-rozwojowych oraz wdrożeniowych w obszarze fuzji jest doprowadzenie do zbudowania reaktora zdolnego do ciągłego podtrzymywania reakcji fuzji jądrowej. Osiągnięcie tego celu stworzy zupełnie nową perspektywę dla rozwoju energetyki.

Program fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom ma cztery główne filary:

1. Międzynarodowy projekt ITER (co znaczy droga po łacinie) powiązany z programem BA (Broader Approach). Głównym udziałowcem jest Wspólnota Euratom (45%). Budżet programu to 25 mld € na 30 lat.
2. Program BA (Broader Approach) z kolei to udział Wspólnoty Euratom w przedsięwzięciach naukowych i technicznych na terenie Japonii (modernizacja tokamaka JT-60U, budowa ośrodka analiz i studiów w Rokkasho oraz budowa urządzenia IFMIF).
3. Projekt JET (Joint European Torus) – przedsięwzięcie europejskie. JET to największy obecnie na świecie tokamak eksperymentalny i jedyny, który może pracować na mieszaninie deuteru i trytu (pozostałe korzystają z czystego deuteru lub wodoru).



Fot. 5. Konsorcjum EUROfusion: rozmieszczenie laboratoriów i urządzeń (<https://www.euroforum.org/>)

Photo 5. EUROfusion consortium: layout of laboratories and equipment (<https://www.euroforum.org/>)

4. Program towarzyszący realizowany w krajach członkowskich Wspólnoty Euratom.

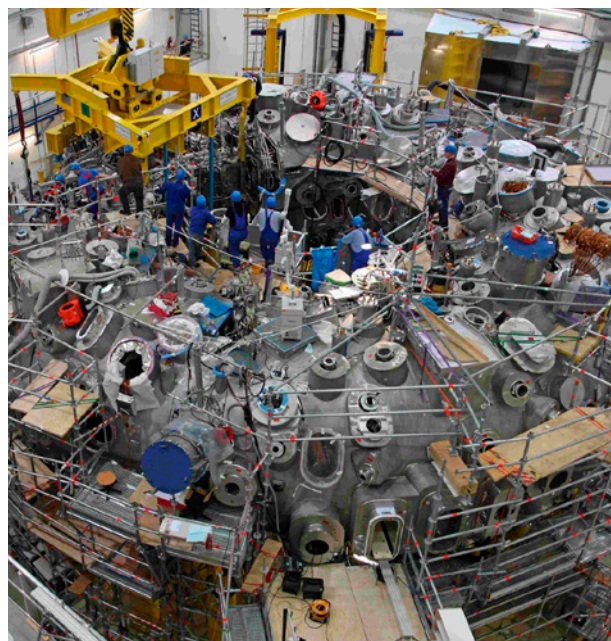
Prace na rzecz ITER-a i BA koordynuje w UE instytucja mająca osobowość prawną o nazwie F4E (Fusion for Energy) z siedzibą w Barcelonie. Pełna nazwa to The European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy.

Pozostałe prace koordynuje konsorcjum EUROfusion, które utrzymuje dwa ośrodki wspierające:

- i. w Culham koło Oksfordu koordynujący projekt JET;
- ii. w Garching koło Monachium, zajmujący się koordynacją prac badawczych z wykorzystaniem innych urządzeń fuzyjnych w Europie oraz rozwojem technologii dla urządzeń kolejnej generacji (program towarzyszący).

Ważną częścią programu fuzji jądrowej Wspólnoty Euratom jest projekt Wendelstein 7-X (W7-X) (IPP Greifswald, Niemcy). Projekt ten ma na celu badanie alternatywnej do tokamaka koncepcji magnetycznego utrzymania plazmy – koncepcji stellaratora, która historycznie rzecz ujmując, była koncepcją wcześniejszą.

Obie koncepcje mają swoje wady i zalety, chociaż obecnie bardziej zaawansowana jest koncepcja tokamaka, która stała się podstawą konstrukcji ITER-a i wcześniej JET-a. Według tej koncepcji zbudowane są też urządzenia WEST we Francji, ASDEX Upgrade w Niemczech, FTU we Włoszech, MAST w Wielkiej Brytanii, ISTTOK w Portugalii, COMPASS w Czechach.



Fot. 6. Stellarator Wendelstein 7-X (Max Planck Institute of Plasma Physics)

Photo 6. Wendelstein 7-X stellarator (photo: Max Planck Institute of Plasma Physics)

W Europie działało do niedawna tylko jedno urządzenie typu stellarator (TJ-II w Hiszpanii), koncepcja ta jest natomiast intensywnie badana w Japonii. Różnica między tokamakiem i stellaratorem dotyczy przede wszystkim sposobu wytworzenia pułapki magnetycznej – w stellaratorze całe pole magnetyczne wytworzone jest przez prądy płynące w cewkach zewnętrznych w stosunku do plazmy, w tokamaku jedna ze składowych pola wytwarzana jest przez prąd elektryczny płynący w samej plazmie. Prąd ten jest wzbudzany impulsową akcją transformatora, którym jest w istocie tokamak. Reaktor termojądrowy będzie urządzeniem pracującym w sposób ciągły, co oznacza, że w wypadku tokamaka do rozwiązania pozostaje problem podtrzymywania prądu w plazmie. Problem ten nie występuje w stellaratorze.

Znaczenie projektu W7-X jest związane także z tym że jest to drugie w Europie urządzenie fuzyjne z cewkami nadprzewodnikowymi (pierwszym był tokamak Tore Supra, po przebudowie nazwany WEST) oraz z aktywnym chłodzeniem komory, co pozwala na kwazistacjonarną pracę urządzenia.

Konsorcjum EUROfusion przywiązuje dużą wagę do tego projektu i zamierza podjąć prace studyjne dotyczące reaktora termojądrowego wykorzystującego koncepcję stellaratora.

Wspólnota Euratom prowadzi ponadto ograniczone badania dotyczące koncepcji fuzyji laserowej, alternatywnej do koncepcji magnetycznego utrzymania plazmy. Na ten cel przeznaczane jest 1% budżetu programu na działalność określaną jako *keep-in-touch*. W roku 2008 został zainicjowany w Europie projekt HiPER o dużo większej skali. Projekt ten, obecnie zawieszony z powodu braku funduszy, nie jest częścią programu fuzyji jądrowej Wspólnoty Euratom.

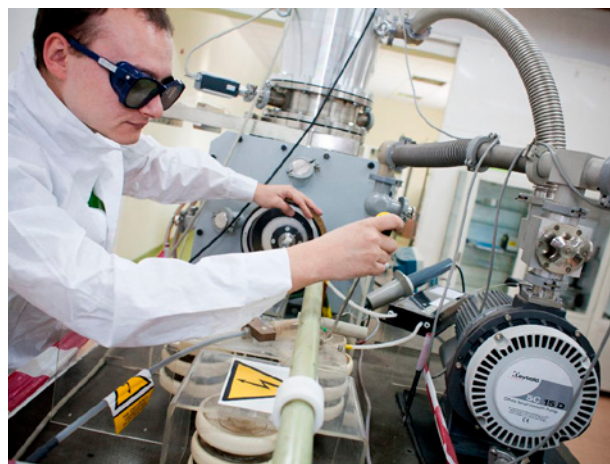
Wysoki stopień integracji prac oraz swobodny dostęp do europejskich urzędów dla wszystkich uczestników programu stworzyły podstawę do intensywnej współpracy i realizacji spójnego programu w ramach wspólnie przyjętej strategii. W realizację programu zaangażowanych jest ponad 30 organizacji badawczych i uniwersytetów z 27 państw członkowskich Unii Europejskiej, Wielkiej Brytanii, Szwajcarii i Ukrainy. Przedsięwzięcie prowadzone jest jako JEDEN program europejski. Idea tzw. *European Research Area*, której utworzenie jest priorytetowym celem Programu Ramowego Horyzont 2020, została tu wcielona w życie ponad 40 lat temu.

Centrum naukowo-przemysłowe Nowe Technologie Energetyczne

Od roku 2005 nowego, znacznie szerszego wymiaru nabrały prowadzone w Polsce badania w dziedzinie fuzyji termojądrowej, co związane jest z przystąpieniem naszego kraju do Wspólnoty Euratom. Fakt ten stworzył zupełnie nowe perspektywy dla prowadzenia prac badawczych, zwłaszcza w zakresie dostępu do europejskich urzędów i ośrodków badawczych oraz funduszy przeznaczonych na wspieranie badań.

Przystąpienie do Programu Ramowego Wspólnoty Euratom w obszarze Fusion wiązało się z zawarciem Kontraktu Asocjacyjnego (CoA – Contract of Association), którego stronami były: Wspólnota Euratom, reprezentowana przez Komisję Europejską i instytucja krajowa koordynująca realizację prac w ramach przyjętego programu (Euratom Associate). W Polsce tą instytucją był Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy.

Od roku 2014 Kontrakt Asocjacyjny zastąpiony został Kontraktem EUROfusion, którego stronami są: Wspólnota Euratom reprezentowana przez Komisję Europejską i Konsorcjum EUROfusion reprezentowane przez Instytut Fizyki Plazmy im. Maksa Plancka w Garching koło Monachium (z oddziałem w Greifswaldzie), w którym jest zainstalowany stellarator Wendelstein 7-X. Konsorcjum EUROfusion skupia laboratoria badawcze i uczelnie zajmujące się fuzyją we wszystkich krajach Unii Europejskiej oraz w Szwajcarii i na Ukrainie. Polskie środowisko fuzyji jądrowej reprezentowane jest w tym Konsorcjum przez Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, a krajową strukturą powołaną przez IFPiLM do koordynacji prac w Polsce jest Centrum naukowo-przemysłowe Nowe Technologie Energetyczne (Centrum NTE, w skrócie CeNTE).



Fot. 7. Stanowisko do badania emisji jonów z tarczy naświetlanej laserem w IFPiLM (fot. IFPiLM)

Photo 7. Stand for investigation of ion stream emitted from laser-produced plasma in the IPPLM (photo: IPPLM)



Fot. 8. Centrum naukowo-przemysłowe Nowe Technologie Energetyczne: mapa instytucji tworzących Centrum (fot. IFPiLM)
Photo 8. Scientific and Industrial Centre New Energy Technologies: chart of the institutions comprising the Centre (photo: IPPLM)

Obecnie Centrum NTE obejmuje zespoły badawcze z 9 uczelni, 4 instytutów PAN i 2 instytutów badawczych. W skład Centrum wchodzi też Spółka Wrocławski Park Technologiczny S.A. Centrum tworzą:

1. Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy im. Sylwestra Kaliskiego,
2. Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
3. Politechnika Warszawska,
4. Uniwersytet Opolski,
5. Zachodniopomorski Uniwersytet Techniczny w Szczecinie,
6. Akademia Morska w Szczecinie,
7. Uniwersytet Szczeciński,
8. Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu,
9. Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica,
10. Politechnika Wrocławska,
11. Politechnika Łódzka,

12. Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego PAN,
13. Instytut Chemii Bioorganicznej PAN – Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe,
14. Instytut Niskich Temperatur i Badań Strukturalnych im. Włodzimierza Trzebiatowskiego Polskiej Akademii Nauk,
15. Instytut Wysokich Ciśnień Polskiej Akademii Nauk „UNIPRESS”,
16. Spółka Wrocławski Park Technologiczny S.A. z siedzibą we Wrocławiu.

Ogólna charakterystyka badań termojądrowych w Polsce

Historia badań w Polsce, związanych z fuzją jądrową, sięga drugiej połowy lat sześćdziesiątych, tak więc zespoły badawcze mają już blisko czterdzieście lat.

doświadczenie w zakresie fizyki plazmy gorącej, zarówno w odniesieniu do badań eksperymentalnych, w tym rozwoju diagnostyk plazmy, jak i teorii obejmującej modelowanie komputerowe. IFPiLM uczestniczył przez pięć lat (w drugiej połowie lat osiemdziesiątych) w radzieckim programie związanym z tokamakiem T15, ale doświadczenie zdobyte wówczas zostało zaprzepaszczone wskutek odpływu kadry w związku ze zmianami organizacyjnymi w IFPiLM na początku lat 90. Doświadczenie zarówno IFPiLM, jak i NCBJ sprzed roku 2005 (IFPiLM i NCBJ były do roku 2005 jedynymi ośrodkami w kraju zajmującymi się fizyką plazmy gorącej) dotyczy procesów fizycznych w plazmie o skali czasowej i przestrzennej diametralnie różnej od tej, jaka występuje w plazmie tokamaków i stellaratorów. To pociąga za sobą zasadniczo różne techniki i technologie stosowane w badaniach eksperymentalnych. (W mniejszym stopniu dotyczy to diagnostyk jądrowych – neutronów i promieniowania gamma). Tym doświadczeniem, które zachowało ciągłość od czasu współpracy z Instytutem Energii Atomowej w Moskwie (w ramach projektu T15), jest doświadczenie dotyczące modelowania procesów transportu masy i energii w tokamakach.

W przypadku doświadczenia zdobytego przy pracy z laserami sytuacja jest inna. W IFPiLM od wielu lat prowadzone są badania zjawisk fizycznych w oddziaływaniu laser-plazma, badania optymalizacyjne laserowej syntezy termojądrowej, badania procesów hydrodynamicznych zachodzących w plazmie laserowej, badania dotyczące emisji jonów, elektronów, promieniowania X i generacji strug plazmowych.

Tak więc przystąpienie do projektów Wspólnoty Euratom było wielkim wyzwaniem dla polskich zespołów badawczych i wyzwanie to zostało podjęte głównie przez młodych pracowników nauki. Odnosnie do zakresu merytorycznego programu realizowanego obecnie w Polsce w obszarze fuzji termojądrowej, to zakres ten ukształtował się na drodze jak najlepszego dopasowania istniejącego potencjału i doświadczenia do potrzeb programu Wspólnoty Euratom. W odróżnieniu na przykład od projektu LHC, który ma na celu poznanie tajemnic natury na poziomie cząstek elementarnych, czyli zaspokojenie głodu wiedzy fizyków wysokich energii, program fuzji jądrowej ma na celu zaspokojenie głodu energetycznego ludzkości. W związku z tym obowiązuje tu podejście pragmatyczne, co oznacza, że akceptowane są projekty badawcze, które nie tylko są ciekawe z poznawczego punktu widzenia, ale i przyczyniają się do postępu na drodze (ITER to droga po łacinie) do osiągnięcia celu, jakim jest elektrownia termojądrowa. Ta okoliczność dodatkowo wpłynęła na wybór zakresu merytorycznego udziału Polski w europejskich projektach. Udział

ten cechuje szeroki zakres tematyczny – od teorii i modelowania plazmy, poprzez diagnostyki plazmy, materiały dla fuzji, do badań socjoekonomicznych.

Są jednak zagadnienia wybrane, będące wizytówką Polski w Europie. Zagadnienia te to nasz udział w projektach JET i W7-X, badania oddziaływania plazmy ze ścianą, nowe materiały dla fuzji (udział w projekcie ITER jest oddzielną kwestią).

Rozważając zakres merytoryczny programu, należy wspomnieć jeszcze o trzech zagadnieniach: efektach ubocznych realizacji programu, przygotowaniu na uczelniach kadr do realizacji tego programu oraz percepcji energetyki termojądrowej w świadomości społeczeństwa wyrażanej przez opinię publiczną.

Badania nad fuzją termojądrową niosą ze sobą nie tylko poszukiwanie niezawodnych i bezpiecznych źródeł energii użytecznej, ale także są to studia innowacyjne mające odniesienia do wdrożeń z obszaru super wytrzymałych materiałów czy technologii medycznych. Opracowanie nowych materiałów o bardzo dużej wytrzymałości termicznej, związane z zastosowaniem ich np. jako ścianki reaktora termojądrowego, może znaleźć również zastosowanie w lotnictwie, motoryzacji czy kosmonautyce. Ponadto technologie związane z modyfikacją powierzchni za pomocą impulsów plazmowych mogą znaleźć zastosowanie w różnych gałęziach przemysłu. Strumienie szybkich jonów generowane laserem dużej mocy mogą znaleźć zastosowanie w hadronowej (protonowej) terapii nowotworowej.

Jeśli chodzi o przygotowanie nowych kadr, to problem wiąże się z małym zakresem, a właściwie brakiem wyspecjalizowanej edukacji w tej dziedzinie, co sprawia, że jest to słaba strona w badaniach nad energetyką termojądrową. Na polskich uniwersytetach i uczelniach wyższych nie ma obecnie w programie studiów fizyki plazmy czy technologii termojądrowych. Tematyka ta sporadycznie przewija się w organizowanych seminariach czy wykładach, jednak to nie gwarantuje rozwoju odpowiednio wykwalifikowanej kadry naukowej. Pracę w takich ośrodkach badawczych, jak Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w Warszawie rozpoczynają osoby, które kończyły inne specjalizacje, co w rezultacie wpływa niekorzystnie na czas zdobywania kolejnych stopni naukowych i specjalizacji zawodowych. Pewnego rodzaju możliwością i szansą pozyskiwania pracowników są studia i staże w zagranicznych ośrodkach naukowych, jednak w tym momencie pojawia się zagrożenie odpływu na stałe kadry z kraju. Szansą na pozyskiwanie nowych pracowników stają się również uczelnie wyższe, które

są zaangażowane w projekty związane z kontrolowaną syntezą termojądrową.

Energetyka termojądrowa jest tematem mało znanym społeczeństwu. I tu pojawia się kolejny problem, z którym boryka się nie tylko ta dziedzina, ale także inne pokrewne, takie jak, chociażby energetyka atomowa. Tak naprawdę liczne protesty społeczne przeciwko budowie reaktorów jądrowych czy termojądrowych wynikają głównie z wyznawanych wartości ekologicznych połączonych z jednoczesną niewiedzą i nieuzasadnionymi obawami przed awarią. Dlatego w tym przypadku istotną rolę odgrywa informacja społeczeństwa i przedstawienie korzyści płynących z danego sposobu dostarczania energii. W przypadku energii termojądrowej należy przede wszystkim uświadomić społeczeństwu różnice pomiędzy tym rodzajem energii a energią atomową.

Energetyka termojądrowa, która może zacząć konkurować z dotychczas stosowanymi źródłami energii za około 30 lat, ma wiele zalet w porównaniu z takimi źródłami. Energetyka fuzyjna, stanowiąca kolejny etap rozwoju klasycznej energetyki jądrowej („atomowej”) będzie przyjazna dla środowiska i ludności, a w perspektywie także tańsza. Będzie ona niezależna od lokalizacji, klimatu i pory roku. Ważne są też takie czynniki jak dostępność surowców do produkcji energii z reakcji fuzji oraz minimalne zagrożenie radiacyjne w porównaniu z energetyką jądrową. Jednocześnie w procesach badawczych i rozwoju technologii dotyczących obu rodzajów energetyki jądrowej jest wiele podobieństw.

Szansą dla badań nad energetyką termojądrową na zwiększenie akceptowalności społecznej jest europejski projekt edukacyjny Fusenet (A European Fusion Education Network), w którym uczestniczy również Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy. Jest to projekt, który ma na celu kształcenie w dziedzinie fuzji termojądrowej i technologii z nią związanych, przy czym program ten dostosowany jest do kształcenia na niemal wszystkich poziomach edukacyjnych, począwszy od szkoły średniej, a skończywszy na studiach doktoranckich. Fusenet daje Polakom szansę współpracy z europejskimi laboratoriami, co z kolei umożliwi dostęp do różnych układów badawczych.

Infrastruktura badawcza

Odrębną sprawą jest aparatura używana w polskich ośrodkach naukowych do badań w dziedzinie syntezy termojądrowej. Nasz kraj nie posiada (jak dotąd) tak ogromnych urządzeń jak tokamaki czy lasery ogromnej mocy, co jest słabą stroną badań nad

kontrolowaną syntezą w Polsce, niemniej jednak w ostatnich latach sytuacja wyposażenia laboratoriów zaczyna się poprawiać, co niewątpliwie wynika z wejścia Polski do wspólnot europejskich w szczególności Wspólnoty Euratom. Ma to trzy aspekty, omówione poniżej:

Po pierwsze, podpisanie ze Wspólnotą Euratom Kontraktu Asocjacyjnego, a następnie Kontraktu EUROfusion, udostępniło badaczom polskim dostęp do wszystkich urządzeń programu badań nad fuzją tej Wspólnoty, w szczególności do tokamaka JET, który jest największym na świecie urządzeniem termojądrowym i jednym, jakie może pracować z trytem. JET jest własnością całej Wspólnoty, a więc to jest „nasz” tokamak.

Po drugie – współfinansowanie programu przez Komisję Europejską zwiększyło istotnie krajowy budżet dostępnych środków, co pozwala na modernizację i rozbudowę bazy badawczej w kraju. Z tej możliwości korzystają wszystkie ośrodki skupione w Centrum NTE.

Po trzecie – dostęp do funduszy strukturalnych UE stwarza szansę na podjęcie w kraju zadań związanych z budową i eksploatacją dużych urządzeń badawczych. Nie będą to zapewne tokamaki ani stellaratory, ani systemy fuzji laserowej, gdyż budowa takich urządzeń, o skali istotnej dla postępu badań, przekracza obecnie możliwości pojedynczego kraju (z wyjątkiem największych potęg światowych takich jak Stany Zjednoczone, Japonia, Francja, Niemcy i Wielka Brytania). Niemniej jednak jest potrzeba zbudowania urządzenia w Polsce, które będzie dla fizyków i technologów zajmujących się fuzją ośrodkiem integrującym i dającym szansę na ważne badania także w kraju. Ośrodek taki przyciągałby także naukowców z innych krajów Wspólnoty Euratom, sprzyjając w ten sposób integracji w skali europejskiej (a nawet światowej) oraz podnosząc poziom badań poprzez udział w nich ekspertów o reputacji międzynarodowej.

W drugiej części tego artykułu zostaną przedstawione osiągnięcia polskiego programu fuzji jądrowej.

*Andrzej Gałkowski,
Monika Kubkowska,
Instytut Fizyki Plazmy
i Laserowej Mikrosyntezy im. S. Kaliskiego,
Warszawa*

Wywiad NucNet-u z przedstawicielem FORATOM-u – Yves Desbazeille

NucNet interview with FORATOM representative – Yves Desbazeille

DLACZEGO EUROPA MUSI WŁĄCZYĆ ENERGIĘ JĄDROWĄ DO PLANOWANIA ENERGII NISKOEMISYJNEJ



Why Europe Needs To Include Nuclear In Low-Carbon Energy Planning

Kamen Kraev, Secretary-General (Belgium),

David Dalton, Editor-in-Chief (United Kingdom; NUCNET)

Szef grupy FORATOM-u – Yves Desbazeille mówi, że jeśli UE poważnie podchodzi do walki ze zmianami klimatu, musi skorzystać z „wszystkich najlepszych narzędzi niskoemisyjnych”

FORATOM industry group head Yves Desbazeille says if EU is serious about tackling climate change, it must make use of ‘all the best low-carbon tools’

Pytanie: Kamen Kraev, David Dalton (NUCNET):
Powiedziałeś na konferencji prasowej w Brukseli, że rok 2020 będzie kluczowym rokiem dla przemysłu jądrowego w Europie. Dlaczego?

Question: Kamen Kraev, David Dalton (NUCNET):
You told a press briefing in Brussels that 2020 will be a crucial year for the nuclear industry in Europe. Why is that?

Odpowiedź: Yves Desbazeille, szef grupy przemysłowej FORATOM-u:

Answer: Yves Desbazeille:

Ostatni rok zakończył się kilkoma bardzo ważnymi wydarzeniami, które będą miały wpływ na przyszłość energii jądrowej. Propozycja Komisji Europejskiej dotycząca europejskiego zielonego porozumienia (Green Deal) utrzymuje zasadę, że państwa członkowskie UE mają swobody wyboru własnego koszyka energetycznego. W swojej rezolucji przed konferencją COP25 w Madrycie Parlament Europejski uznał rolę energii jądrowej w walce ze zmianami klimatu.

Last year ended with a few very important developments which will impact the future of nuclear energy. The European Commission’s proposal for a European Green Deal maintains the principle that EU member states are free to choose their own energy mix. And in its resolution ahead of the COP25 conference in Madrid, the European Parliament recognised the role of nuclear in fighting climate change.

Również oficjalne memorandum po grudniowym szczycie Rady Europejskiej (EUCO) w sprawie zmian klimatu wymienia energię jądrową jako narzędzie do osiągnięcia neutralności klimatycznej. Co więcej, niedawno uzgodniony system klasyfikacji zrównoważonej działalności gospodarczej, znany jako taksonomia, nie wyklucza energii jądrowej. Trend włączania energii jądrowej do przyszłych opcji energetycznych zaobserwowano również pod koniec ubiegłego roku, kiedy kilka państw członkowskich UE, w tym Czechy, Węgry

Also, an official memorandum following the European Council’s (EUCO) December summit on climate change mentions nuclear energy as a tool to achieve climate neutrality. What is more, the recently agreed classification system for sustainable economic activities, known as the taxonomy, does not exclude nuclear. The trend for including nuclear in future energy options was also seen at the end of last year when several EU member states, including the Czech Republic, Hungary and Poland, made it clear that to commit to 2050 decarbonisation targets they must be allowed to invest in nuclear power.

i Polska, wyraźnie dało do zrozumienia, że aby osiągnąć cele w zakresie dekarbonizacji do 2050 r., należy zezwolić na inwestycje w energetykę jądrową.

Oczywiście, na poziomie UE wyrażane są opinie, że energia jądrowa nie może być traktowana równorzędnie z innymi niskoemisyjnymi źródłami energii. Omawiając przyszły koszyk energetyczny, decydenci w UE koncentrują się wyłącznie na odnawialnych źródłach energii i efektywności energetycznej. Pytanie na następne 12 miesięcy brzmi zatem, w jaki sposób ostatnie pozytywne sygnały zostaną przełożone na konkretne prawodawstwo UE oraz w jakim stopniu decydenci UE uznają energię jądrową za korzystną dla klimatu. Jeśli Unia Europejska poważnie podchodzi do walki ze zmianami klimatu, decydenci UE muszą podjąć pilne działania i skorzystać ze wszystkich najlepszych narzędzi niskoemisyjnych, w tym energii jądrowej. Tylko dzięki połączeniu odnawialnych źródeł energii z energią jądrową możemy wywiązać się z naszych zobowiązań.

Pytanie: UE wykluczyła energię jądrową z finansowania w swojej niedawnej inicjatywie dotyczącej polityki ekologicznej Zielonego Ładu, co krytykuje Foratom. Jakie jest znaczenie tej decyzji?

Europejski Zielony Ład utrzymuje zasadę pozostawiania państwom członkowskim UE swobodę wyboru własnego koszyka energetycznego, w tym energii jądrowej. Foratom popiera to podejście i z zadowoleniem przyjmuje cel Komisji, by stała się ona bardziej ambitna w zakresie ograniczenia emisji CO₂. FORATOM uważa, że także w okresie przejściowym, należy pozwolić państwom członkowskim na wybór własnych metod dekarbonizacji. Oczekuje się, że zmniejszą one emisję gazów cieplarnianych, podczas gdy uniemożliwienie im inwestowania w określone technologie niskoemisyjne, takie jak energia jądrowa, przyniosłoby efekt przeciwny do zamierzonego.

Niepokoje nas fakt, że Komisja postanowiła wykluczyć energię jądrową – zarówno nowe budowy, jak i likwidację elektrowni jądrowych – z dostępu do funduszu Just Transition, który jest jednym z trzech głównych źródeł finansowania Mechanizmu Just Transition – kluczowego narzędzia KE umożliwiającego państwom członkowskim wsparcie finansowe na przejście na energię niskoemisyjną. Z przykrością stwierdzamy, że pro wizja nie objęła funduszu energii jądrowej. Trudno nam dostrzec uzasadnienie tej decyzji, ponieważ UE powinna skupić się na pomocy ludziom w regionach o wysokiej emisji dwutlenku węgla w przejściu na wszystkie gałęzie przemysłu niskoemisyjnego.

Należy podkreślić, że energia jądrowa nie została wyłączona z całego mechanizmu Just Transition. Na przykład zaktualizowana polityka pożyczkowa Europejskiego Banku Inwestycyjnego, która będzie jednym ze źródeł finansowania „sprawiedliwego przejścia”,

There are signals at EU level that nuclear may not be treated equally with other low-carbon energy sources. When discussing the bloc's future energy mix, EU decision-makers tend to focus only on renewables and energy efficiency. So the question for the next 12 months is how recent positive signals will be translated into specific EU legislation and to what extent EU decision makers will recognise nuclear energy for the benefits it brings to the system. If the European Union is serious about tackling climate change, then EU decision-makers must act urgently and make use of all the best low-carbon tools, including nuclear. Only by combining renewables with nuclear energy can we deliver on our commitments.

Q: The EU excluded nuclear energy from funding in its recent European Green Deal policy initiative, a move Foratom has criticised. What was the impact of the decision?

The European Green Deal maintains the principle of leaving EU member states free to choose their own energy mix, including nuclear energy. Foratom supports this approach and welcomes the commission's goal of becoming more ambitious in reducing its CO₂ emissions whilst at the same time ensuring that no EU citizen is left behind in the transition, as long as it allows member states to choose their own methods of decarbonisation. Expecting them to reduce their greenhouse gas emissions whilst preventing them from investing in specific low-carbon technologies such as nuclear would be counter-productive.

What concerns us is the fact the commission has decided to exclude nuclear energy, both new build and decommissioning, from having access to the Just Transition Fund, which is one of three main sources of financing the Just Transition Mechanism – the EC's key tool to provide member states with targeted financial support for their transition to low-carbon energy. We regret that the commission didn't include nuclear energy in the fund. It's hard for us to see the justification for this decision because the EU should be focusing on helping people in carbon-intensive regions transition into all low-carbon industries.

It's important to emphasise that nuclear hasn't been excluded from the whole Just Transition Mechanism. For example, the European Investment Bank's updated loan policy, which will be one of the sources for financing the 'just transition', keeps nuclear on the list of potential projects that can receive funding.

The proposals presented by the European Commission will now go through the legislative procedure, which means they could change. The commission recently launched a public consultation focusing on the Just Transition Fund. Foratom, as the voice of the European nuclear industry, will participate

utrzymuje pozycję nuklearną na liście potencjalnych projektów, które mogą otrzymać finansowanie.

Propozycje przedstawione przez Komisję Europejską zostaną teraz poddane procedurze legislacyjnej, co oznacza, że mogą ulec zmianie. Komisja rozpoczęła niedawno konsultacje społeczne dotyczące funduszu Just Transition. Foratom, jako głos europejskiego przemysłu jądrowego, weźmie udział w debacie, dowodząc, że energia jądrowa powinna zostać włączona do funduszu.

P: Jaki jest Twój pogląd na zasadę „nie wyrządzaj znaczącej szkody” w propozycjach taksonomicznych Komisji?

Chcemy, aby Komisja przyjęła podejście neutralne pod względem technologicznym i oparte na faktach, gdy ocenia technologie energetyczne na podstawie tej zasady. Ocena „nie wyrządzaj znaczącej szkody” – która umożliwi podjęcie decyzji, czy energia jądrowa lub jakakolwiek inna technologia kwalifikuje się do zrównoważonego finansowania, czy nie – powinna być podjęta przez ekspertów posiadających dużą wiedzę na temat cyklu życia energii jądrowej (nuclear life cycle). Foratom jest przekonany, że takie dokładne i oparte na faktach podejście, które oceni wybrane źródła energii przy użyciu kryteriów takich jak emisje CO₂, ilość i identyfikowalność odpadów, zużycie surowców i użytkowanie gruntów, doprowadzi do uznania energii jądrowej za zrównoważone źródło energii, która znacząco przyczynia się do łagodzenia zmiany klimatu. Te same kryteria należy stosować jednakowo do wszystkich technologii wytwarzania energii.

P: W europejskich projektach nowo budowanych EJ zgłoszono wzrost kosztów w 2019 r., a wielu przedstawicieli przemysłu jądrowego narzekalo na utratę specjalistycznej wiedzy związanej z energetyką jądrową w Europie. Jak duże jest to wyzwanie dla branży jądrowej?

Przemysł jądrowy zdaje sobie sprawę z wyzwań, przed którymi stoi. Jednym z nich jest unikanie dalszych opóźnień w harmonogramie budowy i wzrostu kosztów. Niestety, takie problemy w dużych projektach budowlanych, w sektorze jądrowym lub w jakimkolwiek innym sektorze, są stosunkowo powszechne i zawsze trudne do przewidzenia. Mimo to uważamy, że wnioski wyciągnięte z przeprowadzonych budów umożliwią lepsze planowanie w przyszłości, biorąc pod uwagę specyfikę różnych projektów w różnych krajach.

Brak nowych inwestycji w energię jądrową i obecny sposób postrzegania energii jądrowej w UE mają zdecydowany wpływ na wolę młodych ludzi do kontynuowania kariery jądrowej. Jest to dla nas znaczące wyzwanie, ponieważ przemysł jądrowy potrzebuje nowej generacji pracowników. Ludzie, którzy byli zaangażowani w budowę elektrowni jądrowych pierwszej generacji, na przykład we Francji w latach 80., przechodzą

to show that nuclear energy should be included in the fund.

Q: What is your view of the ‘do no significant harm’ policy in the commission’s taxonomy proposals?

We want the commission to adopt a technology neutral and fact-based approach when it assesses energy technologies using this principle. The ‘do no significant harm’ assessment – which will enable a decision on whether nuclear or any other technology is eligible for sustainable finance or not – should be undertaken by experts with a strong knowledge of the nuclear life cycle. Foratom is confident that such a thorough and fact-based approach, which will evaluate selected energy sources using criteria like CO₂ emissions, volume and traceability of waste, raw material consumption and land use, will lead to the recognition of nuclear energy as a sustainable source of energy that contributes significantly to climate change mitigation. The same criteria should be applied equally to all power producing technologies.

Q: European new-build projects have reported cost increases in 2019 and many industry officials have complained about the loss of nuclear-related industrial expertise in Europe. How big of a challenge is this for the industry?

The nuclear industry is aware of the challenges it faces. Avoiding further delays in construction scheduling and cost increases are among them. Unfortunately, such issues in major construction projects, in the nuclear or in any other sector, are relatively common and always difficult to predict. That said, we believe that lessons learned from construction sites will enable better planning in future while taking into consideration the particularities of different projects in different countries.

The lack of new investments in nuclear and the current perception of nuclear energy in the EU have definitely an impact on the will of young people to pursue a nuclear career. This is a significant challenge for us as the nuclear industry needs a new generation of employees. The people who were involved in building the first generation of nuclear plants, for example in France in the 1980s, are on the point of retiring and we will need new employees to replace them.

The European nuclear industry is already undertaking several actions to address this challenge. One example is the ENEN+ project, which is funded through Horizon 2020. The goal of this project is to attract more young people to a career in the nuclear sector. Unfortunately, more needs to be done, and not just in terms of attracting people into the nuclear industry, but also into science, technology, engineering, and mathematics subjects in general. We hope that the EU will also put some effort and will

właśnie na emeryturę i będziemy potrzebować nowych pracowników, aby ich zastąpić.

Europejski przemysł jądrowy podejmuje już szereg działań w celu sprostania temu wyzwaniu. Jednym z przykładów jest projekt ENEN+, który jest finansowany z programu „Horyzont 2020”. Celem tego projektu jest przyciągnięcie większej liczby młodych ludzi do sektora jądrowego. Niestety, należy zrobić więcej, nie tylko pod względem przyciągania ludzi do przemysłu nuklearnego, ale także ogólnie do nauk ścisłych, technologii, inżynierii i matematyki. Mamy nadzieję, że UE dołoży starań i będzie ściśle współpracować z przemysłem w celu zapewnienia zastąpienia odchodzącej generacji i transferu kompetencji, a także pomoże pracownikom dostosować się do nowych technologii.

P: UE pracuje nad kompleksową strategią przemysłową, która ma na celu zwiększenie konkurencyjności europejskiego przemysłu i wspieranie zrównoważonego wzrostu. Gdzie jest w tym miejsce na przemysł nuklearny?

Przemysł nuklearny będzie starał się udowodnić, że jesteśmy w stanie się do tej strategii dopasować, pokazując, co mamy do zaoferowania i dowodząc, że przemysł nuklearny jest w stanie przyczynić się do rozwoju europejskiej gospodarki. Europejski przemysł jądrowy ma wiele do zaoferowania. Utrzymanie miejsc pracy i wzrost gospodarczy należą do priorytetów Europy i w tym celu konieczne będzie utrzymanie silnej bazy przemysłowej o znacznej wartości na poziomie UE. Zwiększona globalizacja oznacza, że przemysł europejski stoi w obliczu silnej konkurencji ze strony innych części świata, co częściowo wynika z wyższych kosztów energii.

P: Czy oczekujesz czegoś konkretnego od propozycji KE?

Po prostu powinien być traktowany przez Komisję, w swojej strategii, za część niskoemisyjnych źródeł energii. To, czego absolutnie musimy uniknąć, to wyraźne wykluczenie z proponowanych zmian, tak jak miało to miejsce w przypadku Funduszu Just Transition.

Udostępniona wersja strategii przemysłowej UE mówi, że Europa potrzebuje taniej energii niskoemisyjnej dla swojego przemysłu i utrzymania konkurencyjności. Właśnie tego oczekujemy, że energia jądrowa będzie częścią strategii. Nie prosimy o specjalne traktowanie, ale o równe szanse dla wszystkich źródeł niskoemisyjnych.

P: Co przemysł jądrowy może jeszcze zrobić, aby poprawić swoje możliwości i wyniki projektu jądrowego?

W 2019 r. wysocy rangą przedstawiciele przemysłu nuklearnego przedstawili we wspólnym manifestie, co należy zrobić, aby Europa do 2050 r. stała się niskoemisyjna, a jednocześnie utrzymać wzrost i zatrudnienie. Przemysł musi dostarczyć wymaganą ilość mocy jądrowo-

work closely with the industry to ensure generation transition and competence transfer, as well as it will help the workforce adapt to new technologies.

Q: The EU is working on a comprehensive industrial strategy, which aims to make European industry more competitive and help sustainable growth. Where is the place of nuclear in this?

The nuclear industry will strive to prove that we are able to fit into it by showing what we have to offer and proving that the nuclear industry is capable of playing its part in the development of the European economy. The European nuclear industry has a lot to offer. Maintaining jobs and growth are among Europe's priorities and for this it will need to maintain a strong industrial base with a significant EU-based value. Increased globalisation means Europe's industries are facing strong competition from other parts of the world, which is in part due to higher energy costs.

Q: Do you expect anything specific from the EC proposal?

Simply to be considered part of low-carbon energy sources by the commission in its strategy and subsequent policy proposals would be enough for us. What we must absolutely avoid is to be explicitly excluded from these developments as was the case for the Just Transition Fund. A leaked version of the EU's industrial strategy said Europe needed affordable low-carbon energy for its industry and to maintain competitiveness. This is what we expect to see nuclear be part of in the proposal. We are not asking for any special treatment, but rather for a level playing field for all low-carbon sources.

Q: What could the nuclear industry still do to improve its capabilities and project record?

In 2019, senior representatives from across the nuclear industry outlined – in their joint manifesto – what needs to be done to achieve a decarbonised Europe by 2050, whilst at the same time maintaining growth and jobs. The industry needs to deliver the required volume of nuclear capacity on time and at a competitive cost. To achieve that, the industry is working closely with the supply chain to maximise the benefits of replicating new build projects.

In the manifesto, the industry underlined the importance of investing in and maintaining human capital. There is a need to work closely with national and local governments and other stakeholders to make the industry more attractive to young people and to ensure it has the highly skilled workforce it needs. We need to avoid any potential workforce gap.

In the context of the future European industrial strategy, nuclear is capable of providing stable low-

wych na czas i po konkurencyjnych kosztach. Aby to osiągnąć, branża ściśle współpracuje z łańcuchem dostaw, aby zmaksymalizować korzyści wynikające z replikacji nowych projektów kompilacji.

W manifeście podkreślono znaczenie inwestowania i utrzymania kapitału ludzkiego. Konieczna jest ścisła współpraca z władzami krajowymi i lokalnymi oraz innymi zainteresowanymi stronami, aby uczynić branżę bardziej atrakcyjną dla młodych ludzi i zapewnić branży jądrowej wysokowykwalifikowaną siłę roboczą, której potrzebuje. Musimy unikać potencjalnej luki siły roboczej.

W kontekście przyszłej europejskiej strategii przemysłowej energia jądrowa jest w stanie zapewnić stabilną niskoemisyjną energię elektryczną – w porównaniu z odnawialnymi źródłami energii – po przystępnych cenach.

Ponadto wiele gałęzi przemysłu jest energochłonnych i będzie musiało znaleźć rozwiązania, które pomogą im obniżyć emisyjność procesów produkcyjnych. W przeciwnym razie Europie grozi utrata przemysłu z powodu tzw. „ucieczki emisji”. Energia jądrowa ma do odegrania rolę we wspieraniu tych branż i pomaganiu im w pozostaniu w Europie.

P: Problemy z łańcuchem dostaw stanowiły poważny problem dla nowych projektów jądrowych w Europie i Ameryce Północnej. Czy branża pracuje nad poprawą wydajności łańcucha dostaw?

W pełni wspieramy optymalizację łańcucha dostaw. Jeszcze w tym roku grupa robocza ds. optymalizacji łańcucha dostaw Foratom opublikuje raport zawierający zalecenia dotyczące tego, co należy zrobić, aby umożliwić ciągły rozwój bezpieczeństwa i niezawodności floty jądrowej UE. Chcemy ściślej współpracować z organami regulacyjnymi w celu promowania lepszego dostosowania procesów licencyjnych i regulacyjnych oraz przyczynienia się do większej harmonizacji w całym europejskim sektorze jądrowym.

Wiele naszych organizacji członkowskich składa się z wielu firm z europejskiego łańcucha dostaw, zarówno na poziomie lokalnym, jak i międzynarodowym. Wszyscy są świadomi wyzwań i chcą pracować nad poprawą wydajności sektora. Na przykład niektórzy z naszych skandynawskich członków nalegają na opracowanie standardowych zasad, które umożliwią „gotowe” zamówienia na komponenty pochodzące z innych branż, ale również do zastosowań w sektorze jądrowym. Bardzo ważna jest tutaj ścisła koordynacja i otwarta dyskusja z krajowymi organami regulacyjnymi i władzami przemysłowymi. Jest to złożona i bardzo techniczna kwestia, która wymaga starannej uwagi i w dużej mierze zależy od danego rodzaju sprzętu lub komponentów.

Nasz raport dotyczący łańcucha dostaw będzie krokiem we właściwym kierunku. Przedstawimy kilka zaleceń na wysokim szczeblu i prześlemy je Komisji Euro-

carbon electricity – compared with renewables – at an affordable cost.

Furthermore, many industries are energy intensive and will need to find solutions which can help them decarbonise their manufacturing processes. Otherwise, Europe will run the risk of losing its industries due to so-called “carbon leakage”. Nuclear has a role to play in supporting these industries and helping them to remain in Europe.

Q: Supply chain problems have been a major headache for nuclear new-build projects in Europe and North America. Is the industry working to improve the efficiency of the supply chain?

We are fully supporting the optimisation of the supply chain. Later this year, Foratom’s Supply Chain Optimisation Working Group will publish a report that will include recommendations on what should be done to enable the continuous development of safety and reliability of the EU nuclear fleet. We want to work more closely with regulators to promote the better alignment of licensing and regulatory processes and contribute to more harmonisation across the European nuclear sector.

Many of our member organisations comprise themselves many companies from the European supply chain, both locally and at an international level. They are all aware of the challenges and want to work to improve the efficiency of the sector. For example, some of our Nordic members have been pushing for the development of standard rules to allow for “off the shelf” procurement of components coming from other industries but with applications in the nuclear sector as well. Here a close coordination and open discussion with national regulators and industrial authorities is very important. It is a complex and very technical matter which requires careful attention and largely depends on the individual type of equipment or components in question.

Our supply chain report will be a step in the right direction. We will put forward several high-level recommendations and communicate them to the European Commission and all stakeholders. There are not going to be quick results overnight. Harmonisation of standards in the industry is going to be a lengthy, but invaluable process.

Of course, to make sure that our capabilities match the EU’s targets, we should not forget about supporting innovation and research and development. In this respect, more funding for research into both current and future nuclear technologies such as SMRs and using nuclear to produce heat and hydrogen must be made available by Europe’s leadership

pejskiej i wszystkim zainteresowanym stronom. Z dnia na dzień nie będzie szybkich rezultatów. Harmonizacja norm w branży będzie długim, ale nieocenionym procesem.

Oczywiście, aby upewnić się, że nasze możliwości odpowiadają celom UE, nie powinniśmy zapominać o wspieraniu innowacji oraz badań i rozwoju. W związku z tym przywódcy Europy muszą udostępnić więcej funduszy na badania zarówno obecnych, jak i przyszłych technologii jądrowych, takich jak SMR i wykorzystanie energii jądrowej do produkcji ciepła i wodoru.

P: Brexit oznacza, że UE straci jedno z największych państw członkowskich działających w sektorze energii jądrowej. Jaki jest wpływ Brexitu na przemysł jądrowy?

Postrzeganie energii jądrowej w Europie jest różne w różnych krajach członkowskich. Na poziomie UE widzimy delikatną równowagę sił między krajami, które wspierają energię jądrową, a tymi, które tego nie robią. Kraje, w tym Bułgaria, Republika Czeska, Finlandia, Francja, Rumunia i Szwecja postrzegają energię jądrową jako niezbędną dla swojego koszyka energetycznego. Inni podjęli decyzję, aby nie mieć elektrowni jądrowych, lub je pozamykać. W bardziej ekstremalnych przypadkach niektóre kraje – w szczególności Austria – walczą przeciwko wykorzystaniu energii jądrowej w państwach członkowskich innych niż ich własne, wykorzystując wszelkie możliwe środki prawne i polityczne.

Wielka Brytania jest pro-nuklearna, a jej brak z pewnością wpłynie na postrzeganie energii jądrowej w UE. W wielu krajach fala ku energii nuklearnej może się odwrócić. Mamy kraje – jak dotąd bez energii jądrowej – poważnie rozważające inwestycje w nowe budownictwo, takie jak Polska i Estonia. Ostatnio kilka państw członkowskich uzależniło swoje zaangażowanie w ambitniejsze cele redukcji CO₂ od możliwości inwestowania w nowe moce jądrowe. Ponadto memorandum Rady Europejskiej po ostatnim EUCO obejmuje energię jądrową jako narzędzie stosowane przez niektóre państwa członkowskie do osiągnięcia neutralności klimatycznej. Tendencja ta pokazuje, że coraz więcej państw członkowskich UE uważa energię jądrową za ważne narzędzie przeciwdziałania zmianom klimatu i że ta forma energii ma przed sobą świetlaną przyszłość w Europie.

Decyzja niemieckiego rządu o wycofaniu energii jądrowej może być w pewien sposób postrzegana przez inne państwa członkowskie UE jako „lekcja wyczołnana”. Niemcy są jednym z najbardziej antynuklearnych krajów w UE, a decyzja o przedwczesnym wycofaniu swojej floty jądrowej oznacza, że znacznie przekroczy swoje docelowe poziomy emisji na 2020 r. Gdyby w 2011 r. Niemcy podjęły decyzję o wycofaniu 20 GW mocy węglowej zamiast jądrowej, osiągnęłyby swoje cele w zakresie emisji i byłyby teraz słusznie uznane za europejskiego mistrza klimatu.

Q: Brexit means the EU will lose one of its biggest nuclear power operating member states. What is the impact for the industry?

Nuclear energy's perception in Europe varies across different member states. At EU level we are seeing a fragile balance of power between countries which support nuclear energy and those which don't. Countries including Bulgaria, the Czech Republic, Finland, France, Romania and Sweden see nuclear energy as essential to their energy mix. Others have taken the decision not to have any nuclear or to phase it out. In more extreme cases, some countries – Austria in particular – are fighting against the use of nuclear power in member states other than their own, making use of all possible legal and political means.

The UK is pro-nuclear and its absence will definitely have an impact on nuclear energy's perception in the EU. That said, in many countries the tide towards nuclear may be turning. We have countries – without nuclear energy so far – that are seriously considering investing in new build, such as Poland and Estonia. Recently, several member states made their commitment to more ambitious CO₂ reduction targets conditional on being able to invest in new nuclear capacity. Also, the European Council's memorandum following the latest EUCO includes nuclear energy as a tool used by some member states to achieve climate neutrality. This trend shows that more and more EU member states consider nuclear energy an important tool in counteracting climate change and see a bright future for it in Europe.

The German government's decision to phase out nuclear power can be perceived by other EU member states in some way as a 'lesson learnt.' Germany is one of the most anti-nuclear countries in the EU and its decision to prematurely phase out its nuclear fleet means it will miss its 2020 emissions targets by a wide margin. If Germany had decided in 2011 to phase out 20 GW of coal capacity instead of nuclear, it would have reached its emissions targets and would now be rightly recognised as the European climate champion.

wywiad przeprowadzili:

*Kamen Kraev, Secretary-General (Belgium),
David Dalton Editor-in-Chief (United Kingdom; NUCNET)*

przetłumaczył i zredagował Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

ENERGETYKA JĄDROWA NA ŚWIECIE I W POLSCE W 2019 ROKU

Nuclear Power in the World and in Poland in 2019

Andrzej Mikulski

Streszczenie: Artykuł przedstawia przegląd dokonań w energetyce jądrowej na świecie w 2019 r. z rozdziałem wskazującym na niewielki postęp w tej dziedzinie w Polsce. Liczba reaktorów na świecie zmalała do 443 bloków, przy czym włączono 6 nowych bloków i wyłączono 13 starych bloków. Ogólna ich moc zainstalowana zmalała do 391,4 GWe z 396,6 MWe w 2018 r. Prowadzone są prace przy budowie 52 bloków jądrowych w 14 krajach, a nowe inwestycje rozpoczęły się tylko w 3 krajach po jednym bloku. Według zapowiedzi w 2020 r. ma być uruchomionych na świecie 10 nowych bloków. W Japonii pracuje tylko 9 bloków ponownie uruchomionych, a dalsze 18 przygotowywanych jest do uruchomienia. Prace w Polsce koncentrowały się głównie na przedłużających się pracach nad raportami środowiskowym i lokalizacyjnym prowadzonych na zlecenie PGE EJ 1 w dwóch wybranych lokalizacjach. Poza tym rozpoczęły się prace, głównie analityczne, nad wysokotemperaturowym reaktorem chłodzonym gazem (HTGR) przez Ministerstwo Klimatu, NCBJ i IChTJ w ramach projektu Gospostrateg. Dużym zaskoczeniem było ogłoszenie chęci budowy małego reaktora przemysłowego o mocy 300 MWe przez prywatną firmę chemiczną.

Abstract: The paper presents the changes in nuclear power in the world in year 2018, with a chapter describing the situation in Poland after 10 years of starting nuclear program is described separately. Number of power reactor increased by 6 new connection to the grid and 13 permanently shutdowns and total installed power decreased to 391.4 GWe from 396.6 GWe. Construction works are in progress in total of 52 units in 14 countries and construction was started in 3 countries of one block. In Japan, still only 9 power reactors reconnected to the grid and 18 are prepared to start production. In Poland, the work is concentrated mainly on preparation of environmental and localization reports in two chosen localizations conducted on the order of PGE EJ 1 company responsible for nuclear power in the country. Besides, the work, mainly analytical was started on high temperature gas cooled reactor (HTGR) by Ministry of Climate, NCBJ and INCT in the frame of Geostrateg project. It was a real surprise announcement of intention to start the work on industrial reactor of small power of 300 MWe by private chemical company.

Słowa kluczowe: energetyka jądrowa na świecie, elektrownie jądrowe (EJ), reaktor HTGR

Keywords: nuclear power in the world, nuclear power plants (NPP), reactor HTGR

Wstęp

W kwartalniku Postępy Techniki Jądrowej systematycznie od kilku lat na początku roku publikowane są informacje o energetyce jądrowej na świecie i w Polsce za ubiegły rok, tym razem za 2019 r. Stanowią one autorski wybór doniesień opartych głównie na wiarygodnych internetowych portalach anglojęzycznych prowadzonych przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej w Wiedniu, Światowe Stowarzyszenie Nuklearne (WNN – World Nuclear News) i Światową Niezależną Agencję Wiadomości Jądrowych – NucNet (The Independent Global Nuclear News Agency) oraz portale krajowe jak: cire.pl, wnp.pl, biznesalert.pl i energetyka24.pl. Dodatkowym źródłem informacji są także omówienia zorganizowanych w Polsce konferencji i seminariów i uzyskane odpowiedzi na zapytania przesłane do krajowych instytucji (PAA, NCBJ, IChTJ, CLOR i PGE EJ 1 sp. z o.o.).

Sytuacja energetyki jądrowej na świecie

Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej w Wiedniu opublikowała informacje statystyczne o energetyce jądrowej na świecie za 2019 rok, które przytoczono w Tabeli 1, z podziałem reaktorów na trzy kategorie:

- przyłączane do sieci energetycznej,
- wyłączane z eksploatacji,
- nowobudowane.

Z tabeli widać, że liczba reaktorów na świecie w 2019 r. zmniejszyła się o 7 bloków, gdyż wyłączono 13 starych bloków o mocy 10 251 MWe, a włączono 6 nowych bloków o mocy 5 178 MWe, zatem ogólna moc elektrowni jądrowych zmalała o 5 073 MWe i na koniec 2019 r. wynosiła 391,6 GWe w 443 blokach. Natomiast jeśli w zestawieniu wyłączonych bloków odliczymy 5 bloków w Japonii (Fukushima-Daini 1-4 i Genkai-2), które nie pracowały od 2011 r. i w 2019 r. zdecydowano formalnie, że nie będą uruchamiane, to praktycznie w 2019 r. wyłączono 8 bloków.

Liczba uruchomionych nowych bloków dużej mocy zmalała w porównaniu z 2018 r. z 9 do 4 bloków. Warto zwrócić uwagę, że stale pozostaje w eksploatacji 5 bloków o łącznej mocy 1838 MWe uruchomionych w 1969 r., czyli eksploatowane są już przez 51 lat.

W energetyce jądrowej prowadzone są cały czas prace modernizacyjne zwiększające moc eksploatowanych reaktorów. W 2019 r. ogółem zwiększona została moc o 212 MWe. Przykładowo moc EJ Embalse w Argentynie

Tabela 1. Statystyka reaktorów jądrowych w 2019 r. na podstawie danych IAEA/PRIS
Table 1. Statistics of nuclear reactors in 2019 based on IAEA/PRIS data

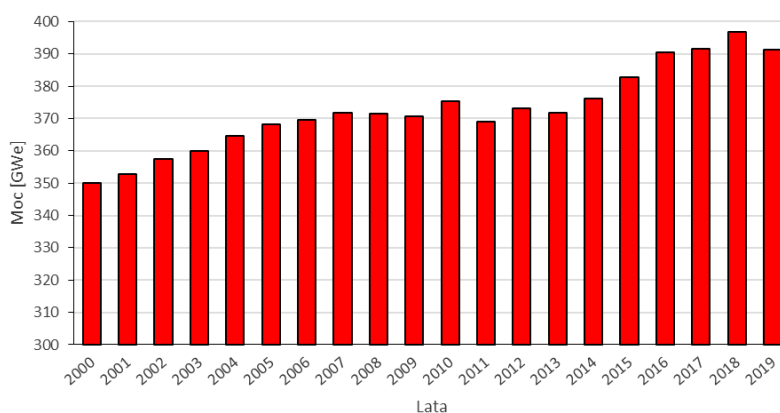
	Nazwa bloku	Kraj	Typ	Model	Moc	Data
Podłączenie do sieci energetycznej					5 178	
1	SHIN-KORI-4	Korea Płd.	PWR	APR1400	1 340	22 kwiecień
2	NOWOWORONEŻ 2-2	Rosja	WWER	WWER-1200	1 114	1 maj
3	TAISHAN-2	Chiny	PWR	EPR-1600	1 660	23 czerwiec
4	YANGJIANG-6	Chiny	PWR	ACPR-1000	1 000	29 czerwiec
5	AKADEMIK ŁOMONOSOW-1	Rosja	PWR	KLT-40S	32	19 grudzień
6	AKADEMIK ŁOMONOSOW-2	Rosja	PWR	KLT-40S	32	19 grudzień
Wyłączenie z eksploatacji					10 251	
1	BILIBINO-1	Rosja	LWGR	EGP-6	11	14 styczeń
2	GENKAI-2	Japonia	PWR	M (2 loop)	529	9 kwiecień
3	PILGRIM-1	USA	BWR	BWR-3	677	31 maj
4	CHINSHAN-2	Tajwan	BWR	BWR-4	604	16 lipiec
5	FUKUSHIMA DAINI-1	Japonia	BWR	BWR-5	1 067	30 wrzesień
6	FUKUSHIMA DAINI-2	Japonia	BWR	BWR-5	1 067	30 wrzesień
7	FUKUSHIMA DAINI-3	Japonia	BWR	BWR-5	1 067	30 wrzesień
8	FUKUSHIMA DAINI-4	Japonia	BWR	BWR-5	1 067	30 wrzesień
9	THREE MILE ISLAND-1	USA	PWR	B&W LLP	819	20 wrzesień
10	MUEHLENBERG	Szwajcaria	BWR	BWR-4	373	20 grudzień
11	WOLSONG-1	Korea Płd.	PHWR	CANDU-6	661	24 grudzień
12	PHILIPPSBURG-2	Niemcy	PWR	PWR	1 402	31 grudzień
13	RINGHALS-2	Szwecja	PWR	WH 3 LP	907	31 grudzień
Nowobudowane					3 156	
1	KURSK 2-2	Rosja	PWR	WWER TOI	1 115	15 kwiecień
2	BUSHER-2	Iran	PWR	WWER-1000	915	27 wrzesień
3	ZHANGZHOU-1	Chiny	PWR	HPR1000	1 126	16 październik

wzrosła o 35 MWe, bloku nr 2 typu BWR w EJ Browns Ferry o 155 MWe (w stosunku do mocy przy jego uruchamianiu w 1974 r., a w ubiegłym roku wzrost wyniósł 96 MWe) i bloku nr 2 w Peach Bottom o 182 MWe (też w odniesieniu do uruchomienia w 1974 r.).

Wykres zmian mocy zainstalowanej w elektrowniach jądrowych na przestrzeni ostatnich 20 lat pokazany jest na rys. 1. Widać na nim systematyczną tendencję wzrostową od 2000 r. do czasu awarii w EJ Fukushima, załamanie się po roku 2011 i dalszy wzrost do roku 2018. W ubiegłym

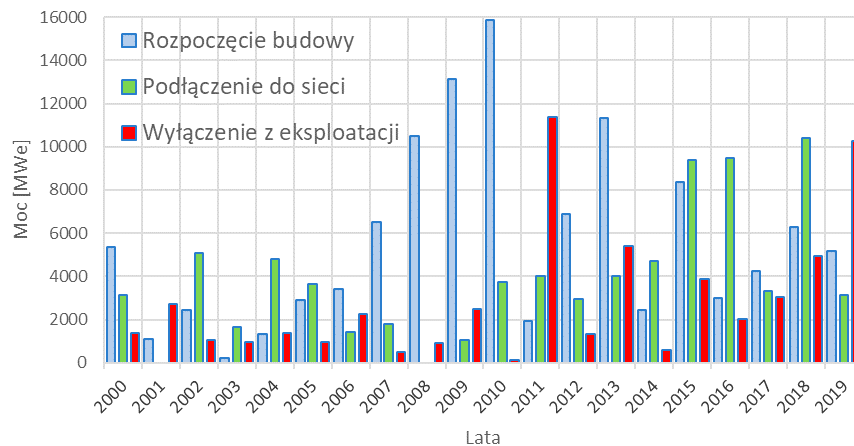
roku, jak wyżej zaznaczono, nastąpił spadek zainstalowanej mocy, a jak będzie w 2020 r. trudno przewidywać wobec wybuchu epidemii koronawirusa na świecie.

Zestawienie informacji jak w Tabeli 1. z podziałem na bloki podłączone do sieci, wyłączone z eksploatacji i rozpoczynane inwestycje przedstawia rys. 2. Tutaj podobnie jak poprzednio widać stałą tendencję wzrostową rozpoczynanych inwestycji do 2010 r., jej załamanie i pewną stabilizację od 2014 r. Podłączone moce do sieci utrzymywały się na stałym poziomie w latach 2015-2018, by



Rys. 1. Zmiana zainstalowanej mocy w elektrowniach jądrowych na świecie w latach 2000-2019
Fig. 1. Installed capacity of nuclear power plant in the world in year 2000-2019

obniżyć się ponad dwukrotnie w 2019 r. W odniesieniu do wyłączonych bloków obserwuje się znaczny ich wzrost w latach 2016-2019 wynikający z wycofywania najstarszych bloków z eksploatacji.



Rys. 2. Statystyka rozpoczętych inwestycji, podłączeń do sieci i wyłączeń z eksploatacji bloków jądrowych w latach 2000-2019
Fig 2. Statistics of construction starts, connections to the grid and permanent shutdowns of nuclear reactors in year 2000-2019

Tabela 2. Zestawienie budowanych reaktorów na koniec 2019 r. na podstawie danych IAEA/PRIS
Table 2. Summary of reactors being built at the end of 2019 on the basis of IAEA/PRIS data

Kraj	Liczba budowanych bloków	Moc [MWe]
Chiny	10	9 326
Indie	7	4 824
Rosja	4 (tylko u siebie)	4 424
Korea Płd.	4	5 360
Zjednoczone Emiraty Arabskie	4	5 380
Bangladesz, Białoruś, Japonia, Pakistan, Tajwan, Słowacja, Ukraina, USA	16 (po 2 w każdym kraju)	14 770
Argentyna, Brazylia, Finlandia, Francja, Iran, Turcja, Wielka Brytania	7 (po 1 w każdym kraju)	8 129
Razem 20 krajów	52 bloków	52 213

Uwaga: niejasna pozostaje kwestia budowy dwóch bloków w EJ Chmielnicki, które uwzględniane są w statystyce MAEA, a WNN¹ podaje, że kontrakt na budowę został zerwany, natomiast portal CIRE.PL², że dokończenie budowy uzależnione jest od możliwości eksportu energii elektrycznej do Unii Europejskiej, kiedyś zbudowanym, a obecnie niezrealizowanym połączeniem transgranicznym do Polski

Zestawienie budowanych bloków przedstawia Tabela 2. Widać z niej dominację budowanych bloków na Dalekim Wschodzie (Chiny i Indie) oraz bloków budowanych przez Rosję, zarówno u siebie, jak i w czterech innych krajach (Bangladesz, Białoruś, Chiny, Egipt, Fin-

landia, Indie, i Turcja). W zestawieniu wymieniona jest jeszcze Słowacja, ale dotyczy to dwóch bloków typu WWER-440, których budowa została przerwana w latach 90. ubiegłego wieku, a teraz uruchamianych po przekon-

struowaniu systemów sterowania i zabezpieczeń, pozostawiając rosyjskie zasadnicze elementy konstrukcyjne (zbiornik ciśnieniowy reaktora, wytwornice pary, pompy, turbina, generator) bez zmian.

Z ogólnej liczby budowanych 52 bloków warto zobaczyć jakie bloki są planowane do uruchomienia w roku 2020. Część ogólnego zestawienia, opublikowana na początku roku, dotyczącego przyszłych planowanych uruchomień pokazana jest w Tabeli 3. Widać z niej, że 80% stanowią bloki PWR o mocy przekraczającej 1000 MWe. Jest jeden blok ciężko-wodny tradycyjnie budowany w Indiach i prototypowy reaktor wysokotemperaturowy w Chinach, którego uruchomienie anonsowane było już w 2018 r., ale zostało przesunięte na bieżący rok. Obecnie (kwiecień 2020 r.) nic nie można powiedzieć, jak pandemia wpłynie na terminy uruchomienia poszczególnych bloków.

Jeśli plan ten zostanie zrealizowany, to łączna moc brutto uruchomionych bloków wyniesie 10 533 MWe i będzie porównywalna z mocą bloków uruchomionych w roku 2019.

Na podstawie dostępnych informacji publikowanych od początku 2019 r. sytuacja w poszczególnych, najbardziej zaangażowanych w energetykę jądrową, krajach kształtuje się następująco, zaczynając od krajów, które uruchomiły reaktory w roku 2019:

(1) W **Rosji** uruchomiono jeden reaktor dużej mocy typu WWER-1000 w elektrowni Nowoworoneż 2-2 (blok nr 7) oraz dwa reaktory małej mocy w ramach pływającej elektrowni przeznaczone do produkcji energii elektrycznej i ciepła grzewczego w mieście Pewek na północnej Syberii. Jest to projekt zastąpienia pracującej tam od 1974 r.

¹ <http://www.world-nuclear-news.org/Articles/Russia-announces-cancellation-of-Khmel'nitsky-agree>

² [cire.pl: turboatom-i-westinghouse-przedluzaja-porozumienie-o-wspolpracy](http://cire.pl/turboatom-i-westinghouse-przedluzaja-porozumienie-o-wspolpracy)
[cire.pl: rzeszowska-rdos-opublikowala-dokumenty-ws-rozbudowy-ej-chmielnicki](http://cire.pl/rzeszowska-rdos-opublikowala-dokumenty-ws-rozbudowy-ej-chmielnicki)

Tabela 3. Planowane uruchomienia reaktorów w 2020 r.

Table 3. Planned reactor launch in 2020

Reaktor	Kraj	Typ	Model	Moc brutto [MWe]
Ostrowiec 1	Białoruś	PWR	WWER-1200	1 194
Shidaowan	Chiny	HTGR	HTR-PM	210
Fuqing 5	Chiny	PWR	Hualong One	1 150
Tianwan 5	Chiny	PWR	ACPR-1000	1 118
Olkiluoto 3	Finlandia	PWR	EPR	1 720
Kakrapar 3	Indie	PHWR	PHWR-700	700
Shin Hanul 1	Korea Płd.	PWR	APR1400	1 400
Leningrad II-2	Rosja	PWR	WWER-1200	1 170
Mochovce 3	Słowacja	PWR	WWER-440	471
Barakah 1	Zjednoczone Emiraty Arabskie	PWR	APR1400	1 400
Razem	10 bloków o mocy			10 533

EJ Bilibino z czterema reaktorami o mocy 12 MWe każdy, przeznaczonymi również do produkcji ciepła grzewczego. Są to pierwsze bloki, które można zaliczyć do małych reaktorów modułowych, przeznaczonych do pracy w odległych lokalizacjach. Oparte są one konstrukcyjnie o reaktory zastosowane w lodolamaczach atomowych. Pracują na paliwie średniowzbożonym (około 14% zawartości izotopu uranu U^{235} w porównaniu do 4-5% w klasycznych elektrowniach jądrowych) co pozwala na pracę przez około 3-4 lata bez wymiany paliwa. Będzie to operacja dosyć skomplikowana, gdyż przewidywane jest przetransportowanie całej elektrowni (barki) do Murmańska i tam dokonanie wymiany paliwa. Federacja Rosyjska kontynuuje budowę 11 reaktorów za granicą w Bangladeszu, Białorusi, Chinach, Indiach i Turcji oraz przygotowuje się do rozpoczęcia budowy w Egipcie, Finlandii i na Węgrzech. Poza tym prowadzi szeroką akcję podpisywania porozumień o współpracy w dziedzinie energii jądrowej z wieloma krajami w Afryce i Ameryce Południowej.

(2) W **Chinach** w 2019 r. uruchomiono tylko dwa bloki, czyli znacznie mniej bloków niż w poprzednim roku, kiedy było ich siedem. Pierwszym z nich jest drugi w historii reaktor typu EPR, a drugim własnej konstrukcji zaawansowany reaktor generacji III+ typu ACPR-1000, którego budowa niestety trwała 9 lat i 8 miesięcy i który chcą oferować do sprzedaży za granicą. W tym roku elektrownie jądrowe wyprodukowały 348,1 TWh energii elektrycznej, co stanowi wzrost o 18% w porównaniu z poprzednim rokiem, a ich udział w ogólnej produkcji wzrósł do 4,88% w porównaniu do poprzedniego roku, kiedy wynosił 4,22%. Poza działaniami w kraju, Chiny zaangażowane są bezpośrednio w budowę dwóch reaktorów w Pakistanie typu ACP-1000. Od 2012 r. trwa budowa dwóch przemysłowych reaktorów wysokotemperaturowych pracujących na jedną turbinę, ale ich uruchomienie przesunięto w porównaniu z pierwotnymi planami o 3 lata i przewidywane jest w bieżącym roku. Jest to pierwszy taki reaktor budowany od wielu lat i należy do tzw. IV generacji. Można powiedzieć, że budowa obserwowana

jest przez wiele krajów, a jej sukces ma otworzyć drogę do szerszego zaangażowania się w tą konstrukcję. Z tego też powodu jest ona pilnie śledzona w Polsce, która według zapowiedzi prasowych też chce zaangażować się w budowę reaktorów wysokotemperaturowych.

(3) W **Korei Południowej** uruchomiony został drugi reaktor typu APR-1400, którego budowa trwała 9 lat i 8 miesięcy. Od uruchomienia reaktor pracował na pełnej mocy (100%) przez około 203 dni.

(4) W **Japonii** na ogólną liczbę 33 reaktorów w 2019 r. pracowało jedynie 9 bloków tylko typu PWR i uruchomionych w poprzednich latach. I tak EJ Sendai blok nr 1 (sierpień 2015) i nr 2 (październik 2015), EJ Takahama blok nr 3 (czerwiec 2017) i nr 4 (maj 2017), EJ Ikata blok nr 3 (listopad 2018), EJ Ohi blok nr 3 (marzec 2018) i nr 4 (maj 2018) oraz EJ Genkai blok nr 3 (marzec 2018) i nr 4 (czerwiec 2018). W 2019 r. nie uruchomiono żadnego następnego bloku wobec przedłużających się prac modernizacyjnych i oczekiwania na uzyskanie zezwolenia dozoru jądrowego i władz lokalnych dla następnych 18 bloków. Plany uruchomienia w 2020 r. dotyczą EJ Mihama blok nr 3 (połowa 2020 r.) i EJ Kashiwazaki-Kariwa bloki nr 6 i nr 7 (kwiecień 2020) i tu trzeba zauważyć, że w tej ostatniej elektrowni byłyby to pierwsze uruchomione bloki typu BWR, a konkretnie ABWR należące do III generacji. Trzeba dodać, że ogółem z eksploatacji zostało wyłączonych 27 reaktorów ze względu na kończące się zezwolenia na eksploatację lub nieopłacalność prac modernizacyjnych.

(5) W **Zjednoczonych Emiratach Arabskich** ogłoszono tryumfalnie w lutym 2019 r. zakończenie budowy pierwszego bloku w EJ Barakah, co dało czas budowy równy 6 i pół roku (od lipca 2012 do lutego 2019 r.). Niestety uruchomienie, jak oficjalnie stwierdzono z powodu opóźnienia w szkoleniu personelu, przesunięte zostało na 2020 r. Niemniej jednak sama budowa trwała 78 miesięcy, co jak na budowę pierwszego reaktora w danym kraju jest dobrym osiągnięciem.

(6) W **Finlandii** budowa pierwszego w Europie reaktora typu EPR zmierza ku końcowi i ma być uruchomiony w 2020 r. Budowa ta jest sztandarowym argumentem przeciwników energetyki jądrowej, którzy posługują się straszakiem przedłużającej się budowy, gdyż reaktor miał być pierwotnie uruchomiony w roku 2009 (tak ogłoszono przy podpisywaniu kontraktu w 2005 r.) oraz koszt jego budowy przekroczył już trzy i pół raza pierwotnie przewidywany preliminarz.

(7) We **Francji** w dalszym ciągu zapowiadane są przesunięcia terminu uruchomienia drugiego w Europie reaktora typu EPR na skutek niedociągnięć wykonawczych sygnalizowanych przez dozór jądrowy i aktualnie uruchomienie przewidziane jest w 2022 r. wobec pierwotnych planów przewidujących 2013 r. W październiku zapowiedziano wyłączenie dwóch najstarszych bloków o mocy po 880 MWe w EJ Fessenheim, które były uruchomione odpowiednio w 1977 i 1978 r., a mają być wyłączone w lutym i czerwcu 2020 r. Trzy lata temu pojawiły się wątpliwości użycia prawidłowego materiału do wykonania wytwornic pary w dziewięciu reaktorach, w tym w bloku nr 2 tej elektrowni i domagano się pilnego jego wyłączenia. Ostatecznie dozór jądrowy nie wniósł zastrzeżeń co do ich bezpieczeństwa, ale pojawiły się silne naciski, by wyłączyć te reaktory. Natomiast przeciwnicy wyłączenia wskazywali, jaki będzie wzrost emisji CO₂ po ich wyłączeniu, ale to nie przekonało rządu francuskiego i te dwa bloki zostaną wyłączone.

(8) Na **Słowacji** kontynuowane były prace wykończeniowe przy bloku nr 3 EJ Mochovce i jest nadzieja, że będzie on uruchomiony w 2020 r.

(9) W **Wielkiej Brytanii** postępują prace przy budowie dwóch bloków w EJ Hinkley Point C i utrzymywane jest stwierdzenie, że będzie ukończony w terminie, który wyznaczony został na rok 2025. Nowy premier Boris Johnson obiecał wsparcie dla energetyki jądrowej w czasie swojego pierwszego – jako premiera – wystąpienia w Izbie Gmin w lipcu 2019 r. Zgodnie z dotychczasową polityką do roku 2030 siedem z ośmiu elektrowni jądrowych funkcjonujących w tym kraju ma zostać zamkniętych, a projekty budowy nowych elektrowni jądrowych przez ostatnie dwa lata nie miały zapewnionego finansowania.

(10) Na **Białorusi** budowa EJ Ostrowiec realizowana jest z rocznym opóźnieniem, blok nr 1 przechodzi odpowiednie testy i ma być uruchomiony w połowie 2020 r. Podejmowane są wysiłki, by sprzedawać energię elektryczną sąsiednim krajom, ale Polska, Litwa i Łotwa zdecydowanie odrzuciły taką ofertę. Białoruś będzie miała problem, co zrobić z nadwyżkami energii i pojawił się pomysł zwiększenia jej wykorzystania przez gospodarstwa domowe.

(11) W **Argentynie** budowa reaktora CAREM o małej mocy typu iPWR została wstrzymana w listopadzie ze

względu na brak finansowania ale ponownie uruchomiona w pierwszych miesiącach 2020 r.

Przechodząc do omówienia wyłączonych reaktorów w 2019 r., trzeba stwierdzić, że: **Niemcy** kontynuują wyłączanie jeszcze zupełnie sprawnych bloków, jak blok nr 2 w EJ Philippsburg (rozpoczęcie eksploatacji w kwietniu 1985 r., czyli wyłączenie po 34 latach pracy), który mógłby jeszcze pracować, w **Stanach Zjednoczonych Ameryki** wyłączono dwa reaktory (Pilgrim – 47 lat pracy i Three Mile Island 1 – 45 lat pracy) ze względów ekonomicznych tj. taniość energii elektrycznej z innych źródeł, natomiast w **Szwecji** (Ringhals 2 – 44 lat pracy), **Szwajcarii** (Mühleberg – 47 lat pracy), na **Tajwanie** (Chinshan 2 – 40 lat pracy) i w **Korei Płd.** (Wolsong – 36 lat pracy), gdyż modernizacje byłyby zbyt kosztowne i osiągnęły one prawie 40-letni okres eksploatacji.

Modułowe reaktory małej mocy

Rok 2019 był kolejnym rokiem, w którym coraz więcej działo się w zakresie modułowych reaktorów małej mocy, znanych pod skrótem SMR (small modular reactors). Raport MAEA wymienia ponad 50 różnych koncepcji takich reaktorów, ale na użytek tego sprawozdania przedstawione zostaną konstrukcje, które mogą być interesujące dla Polski w najbliższym czasie. Rysują tu się wyraźnie dwie odmienne ścieżki postępowania. Pierwsza to poszukiwanie reaktorów, które mogłyby zastąpić wycofywane bloki o mocy 200 MWe w elektrowniach konwencjonalnych ze względu na ich długi czas eksploatacji i brak możliwości jego przedłużenia ze względów ekonomicznych i wymogów ograniczenia emisji dwutlenku węgla. Druga to poszukiwanie reaktora z przeznaczeniem głównie do dostarczania ciepła przemysłowego w zakładach chemicznych, którym może być reaktor wysokotemperaturowy chłodzony gazem (HTGR), co zostanie omówione w następnym rozdziale.

Pierwszy kierunek to oparcie się na sprawdzonych konstrukcjach reaktorów chłodzonych wodą, w najlepiej opanowanej technologii, ale o znacznie mniejszej mocy jednostkowej rzędu 200-300 MWe i możliwych do zbudowania w najbliższym czasie. Przy tak ograniczonym kryterium wyboru mamy tu tylko cztery poniższe konstrukcje reaktorów:

1. CAREM-25 budowany przez argentyńską firmę CNEA,
2. ACP-100 projektowany przez chińską firmę CNNC,
3. SMR-160 projektowany przez amerykańską firmę Holtec International,
4. BWRX-300 projektowany przez amerykańsko-japońskie konsorcjum GE-Hitachi Nuclear Energy.

Wyliczenie to nie obejmuje reaktora firmy NuScale o mocy 50 MWe, który może być budowany w zestawieniu do 12 bloków w jednym budynku obok siebie, co daje łączną moc 600 MWe. Tak mała moc i wymiary

bloku znacznie ułatwiają konstrukcję i dostarczenie na plac budowy. Usytuowanie blisko siebie tylu reaktorów i wspólna sterowania wywołują poważne obawy o bezpieczeństwo i powinno to zostać wyjaśnione przy wydawaniu zezwolenia przez amerykański urząd dozoru jądrowego co jest planowane we wrześniu 2020 r.

Praktycznie, dla Polski można rozważać tylko dwa ostatnie reaktory, gdyż budowa prototypowego reaktora CAREM bardzo się przedłuża i byłibyśmy zainteresowani tylko zmodyfikowaną wersją o mocy 200 MWe, a reaktor ACP-100 ma zbyt małą moc 100 MWe.

Na podstawie opublikowanych danych w Internecie i materiałów dostawców w Tabeli 4 zebrano najistotniejsze parametry obu reaktorów.

Tabela 4. Charakterystyka techniczna wybranych wodnych reaktorów
Table 4. Technical characteristics of selected water reactors

Parametr	Reaktor	
	SMR-160	BWRX-300
Dostawca	Holtec International, USA	GE-Hitachi Nuclear Energy
Typ reaktora	PWR (wodny reaktor ciśnieniowy)	BWR (wodny reaktor wrzący)
Moc reaktora [MWe]	160	300
Cykl paliwowy, miesiące	18 - 24	12
Czas wychłodzenie awaryjnego	(brak informacji)	7 dni
Czas eksploatacji, lata	80	60 (?)
Koszt budowy [\$/kW]	4 100	2 250 (FOAK) 2 000 (NOAK)
Koszt produkcji [\$/MWh]		35
Wystąpienie o zezwolenie	lutym 2019 (Kanada)	marzec 2019 (Kanada) grudzień 2019 (USA)
Projekt techniczny	2022	(brak informacji)
Rozpoczęcie budowy	2023 (?)	(brak informacji)
Przewidywane uruchomienie	(brak informacji)	2027

Konstrukcja obu z nich aktualnie podlega przeglądowi przez kanadyjski urząd dozoru jądrowego (CSNC), a drugiego jest w fazie dostarczania dokumentacji do amerykańskiego urzędu dozoru jądrowego (US NRC).

Reaktorem SMR-160 zainteresowane są takie kraje jak: Indie, Ukraina i Czechy, a reaktorem BWRX-300 Estonia i Polska. Wszystkie te kraje zawarły w 2019 r. odpowiednie porozumienia na dokonanie oceny przydatności konstrukcji w lokalnych warunkach, a Ukraina nawet porozumienie o współpracy przy jego budowie oferując dostawę turbozespołu.

Trzecią konstrukcją, która może być interesująca dla Polski to reaktor CAREM o mocy 25 MWe, który jest aktualnie budowany w Argentynie z planowanym uruchomieniem w roku 2021, ale w zapowiadanej wersji o zwiększonej mocy do 100 lub nawet 300 MWe.

Energetyka jądrowa w Polsce

Rok 2019 był kolejnym rokiem, w którym wbrew oczekiwaniom i obietnicom podjęcia decyzji zasadniczej (będziemy budować czy nie) tak naprawdę nie wiele się

działo w energetyce jądrowej w Polsce wbrew licznym zapowiedziom. Spójrzmy na działania czołowych graczy na polu energetyki jądrowej ułożone według subiektywnej oceny autora artykułu, głównie na podstawie doniesień internetowych.

Ministerstwo Energii ogłosiło podpisanie umowy z Narodowym Centrum Badań i Rozwoju na rozpoczęcie finansowania badań w dziedzinie wsparcia wdrażania technologii reaktorów wysokotemperaturowych HTGR w Polsce³. Projekt Gospostrateg-HTR, o wartości 18 mln zł., będą realizować: Ministerstwo Energii (obecnie Ministerstwo Klimatu) oraz dwa ośrodki naukowe – Narodowe Centrum Badań Jądrowych i Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.

W ciągu trzech lat zostanie przygotowana seria analiz technicznych, prawnych i społeczno-gospodarczych, które w późniejszym etapie posłużą do sprawnego wdrażania technologii wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w polskim przemyśle.

Drugim osiągnięciem ministerstwa była aktualizacja katalogu „Polish Industry for Nuclear Energy”, który prezentuje polskie możliwości technologiczne w branży jądrowej⁴. Niestety w katalogu zawierającym 332 firmy tylko 55 (czyli 17%) podało, że ma doświadczenia w branży jądrowej i to w zakresie budowlanym i dostaw drobnych urządzeń. Stąd wniosek o możliwym poważnym udziale polskich firm przy budowie nowej elektrowni jądrowej w Polsce wydaje się sformułowany bardzo na wyrost. Chociaż w tym roku należy odnotować poważną dostawę, w ramach modernizacji, nowego stojana generatora w EJ Darlington (Kanada)⁵ oraz dostawy mniejszych

³ <https://www.cire.pl/item,175541,1,0,0,0,0,18-milionow-zl-na-wdrozenie-technologie-reaktorow-jadrowych-htgr-w-polsce.html>

⁴ <https://www.cire.pl/item,186246,1,0,0,1,0,0,me-aktualizuje-katalog-polskich-firm-z-branzy-jadrowej.html>

⁵ <https://www.cire.pl/item,177350,1,0,0,0,0,we-wroclawiu-wyprodukowano-stojan-generatora-dla-elektrowni-jadrowej-w-kanadzie.html>

urządzeń do nowych elektrowni budowanych w takich krajach jak: Indie, Japonia, Meksyk i Wielka Brytania⁶.

Ministerstwo było też organizatorem trzech otwartych spotkań poświęconych:

- prezentacji raportu przygotowanego przez Massachusetts Institute of Technology (MIT) (22 stycznia 2019 r.) na temat sposobów obniżenia wysokich kosztów budowy elektrowni jądrowych, które mają polegać na wymuszeniu, by przemysł bardziej realnie przygotowywał się do budowy elektrowni jądrowych i realizował je zgodnie z zaplanowanym harmonogramem i preliminarzem kosztów oraz by wszystkie zeroemisyjne źródła energii były traktowane jednakowo, podczas gdy obecnie widzimy dyskryminację atomu względem OZE, ale autorzy raportu stawiają pytanie, czy przestawienie się na bardziej masową (fabryczną) budowę reaktorów małej mocy może być też sposobem na obniżenie kosztów⁷,
- technologii reaktorów wysokotemperaturowych (28 stycznia 2019 r.), podczas którego podpisano umowę o wymianie akademickiej między Szkołą Inżynierii na Uniwersytecie Tokijskim a Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku⁸.
- wykorzystaniu energetyki jądrowej do produkcji ciepła przemysłowego, kogeneracji czy produkcji wodoru w ramach międzynarodowego seminarium „Nuclear Energy Beyond Electricity”⁹ (24 września 2019 r.).

W Ministerstwie Energii nastąpiła też zmiana na stanowisku dyrektora Departamentu Energii Jądrowej, odszedł dr Józef Sobolewski, a na jego miejsce z dniem 1 lutego mianowany został dr Tomasz Nowacki, który poprzednio był już wicedyrektorem tego departamentu w latach 2014-2016. Nowy dyrektor jest doktorem nauk prawnych, specjalizującym się w zagadnieniach legislacyjnych dotyczących energetyki jądrowej i m.in. był autorem artykułu w PTJ na temat organizacji wsparcia technicznego procesu inwestycyjnego elektrowni jądrowej¹⁰.

Państwowa Agencja Atomistyki zrealizowała drugi etap dwuletniego projektu ALEP (Advanced Licensing Exercise Project), który ma służyć przetestowaniu polskiego systemu oceny spełnienia wymogów bezpieczeństwa przez planowane elektrownie jądrowe. We wrześniu nastąpiła zmiana na stanowisku prezesa Agencji. Odwołany został dr Andrzej Przybycin i obowiązki

prezesa powierzone zostały dr. Łukaszowi Młynarkiewiczowi. Doktor Młynarkiewicz (lat 30) posiada wykształcenie prawnicze i w 2018 r. obronił pracę doktorską pt. „Decyzja zasadnicza jako forma działania administracji publicznej w procesie przygotowania i realizacji inwestycji w zakresie obiektów energetyki jądrowej”.

Spółka PGE EJ 1 w 2019 r. zajmowała się głównie przygotowaniem raportu na temat oddziaływania elektrowni jądrowej na środowisko i raportem lokalizacyjnym elektrowni, a o terminie ich przygotowania za dwa lata powiedział przedstawiciel (jeszcze wtedy) Ministerstwa Energii w połowie 2019 r., czyli raporty te poznamy w połowie 2021 r. Poza tym zleciła przeprowadzenie badania poparcia społecznego budowy elektrowni jądrowej w gminach lokalizacyjnych, które zwiększyło się o 2% w stosunku do poprzedniego roku i wynosiło 69%. Osobną działalnością była organizacja Programu Wsparcia Rozwoju Gmin Lokalizacyjnych, którego piąta edycja miała miejsce w 2019 r.

Narodowe Centrum Badań Jądrowych zaangażowane było w 2019 r. w rozpoczęcie realizacji projektu Gospostrateg-HTR, co opisane jest w dalszej części. Drugim kierunkiem działania jest prowadzenie studium doktorskiego pt. „Koncepcje nowych reaktorów i analiz bezpieczeństwa dla Programu Polskiej Energetyki Jądrowej” realizowanym w latach 2018-2023. Badania skupione są na technologii dwóch koncepcji reaktorów wysokotemperaturowych, a mianowicie reaktorów chłodzonych gazem (HTRG) i reaktora dwupłynowego (DFR). Aktualnie studium liczy 10 studentów, a w tym 3 obcokrajowców z Armenii, Egiptu i Iranu. Studenci mają do wysłuchania 16 wykładów tematycznych poświęconych nowym technologiom reaktorowym, a jednym z wyrazów ich aktywności jest udział we wspólnych cotygodniowych seminariach.

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w zakresie energetyki jądrowej koncentruje swą działalność na uczestnictwie w projekcie Gospostrateg-HTR, co dalej też jest opisane.

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej jest trzecią instytucją w Polsce związaną statutowo z energetyką jądrową. W 2019 r. jego działania określone były poprzez współpracę międzynarodową nakierowaną na rozwijanie programów prognozujących dawki od rutynowych uwolnień z elektrowni jądrowych do środowiska (program MODARIA), wdrażaniu metod pomiaru HTO (tzw. wody trytowej) i OBT (trytu związanego organicznie) jak również C-14 w środowisku oraz pomiarów gazów szlachetnych Kr-85 i Xe-133 wokół obiektów jądrowych.

Nowym podmiotem w energetyce jądrowej w Polsce może okazać się koncern chemiczny **Synthos**, który zainteresowany jest zbudowaniem małego reaktora przemysłowego dostarczającego energię elektryczną na jego

⁶ <https://www.cire.pl/item,176695,1,0,0,0,0,polskie-firmy-buduja-elektrownie-jadrowe-w-wielkiej-brytanii-kanadzie-i-indiach.html>

⁷ <https://www.cire.pl/item,175122,1,0,0,0,0,raport-mit-sa-sposoby-na-obnizenie-wysokich-kosztow-budowy-atomu.html>

⁸ <https://www.cire.pl/item,175422,1,0,0,0,0,umowa-ncbj-badania-technologii-jadrowych-wspolnie-z-japonczykami.html>

⁹ <https://www.cire.pl/item,186794,1,0,0,0,0,alex-burkart-energia-jadrowa-moze-byc-wykorzystywana-do-kogeneracji-produkcji-wodoru-czy-ciepła-przemysłowego.html>

¹⁰ T. Nowacki: Niezależność organizacji wsparcia technicznego w procesie nadzoru i kontroli elektrowni jądrowych, PTJ, nr 2/2012, s. 24-40.

własne potrzeby¹¹. W tym celu zawarł on wstępne porozumienia na zbadanie możliwości zastosowania reaktora BWRX-300 firmy GE Hitachi Nuclear. Ogłoszenie o podpisaniu porozumienia odbyło się z wielką pompą w czasie forum Unia Europejska – Stany Zjednoczone na temat reaktorów SMR, które odbyło się w Brukseli w październiku 2019 r., z udziałem prezesa koncernu p. Michała Sołowowa z wiceprezesem firmy GEH i innymi oficjelami. Jest to interesująca sytuacja, gdy prywatna firma szuka możliwości inwestycji w reaktor jądrowy, co wzbudziło ogromną dyskusję w prasie, czy to jest możliwe i jak do tego podejrze polski urząd dozoru jądrowego. W każdym razie należy z ogromną uwagą śledzić dalszy rozwój tego projektu.

Opisując energetykę jądrową w Polsce, nie można pominąć czterech organizacji pozarządowych jak:

- **Polskie Towarzystwo Nukleoniczne (PTN),**
- **Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Jądrowej (SEREN),**
- **Komitet Energetyki Jądrowej SEP,**
- **Ruch Obywatelski na rzecz Energetyki Jądrowej.**

Pierwsze trzy swoją działalność popularyzatorską prowadziły w ramach comiesięcznych seminariów organizowanych na Politechnice Warszawskiej. Poza tym PTN organizuje corocznie konkursy na najlepsze prace doktorskie, magisterskie i licencjackie z szeroko pojętej dziedziny atomistyki. Czwarta organizacja, najmłodsza, podejmowała w 2019 r. dwie akcje publiczne, a mianowicie zorganizowała w dniu 14 września marsz na rzecz energetyki jądrowej na trasie od Pałacu Staszica do Urzędu Rady Ministrów zakończony wręczeniem petycji do premiera rządu oraz w dniu 20 października ustawiła stoisko edukacyjne pod pomnikiem Mikołaja Kopernika na Krakowskim Przedmieściu w Warszawie pod hasłem „Stań za atomem”¹², tak jak to zrobiły w tym dniu inne organizacje zagraniczne w 32 miastach na świecie.

Z kronikarskiego punktu widzenia należy jeszcze odnotować szereg rozmów/spotkań na szczeblu rządowym ze Stanami Zjednoczonymi Ameryki w Warszawie i Waszyngtonie, co dziennikarze łączą (ale bez oficjalnego potwierdzenia) z przygotowaniem do wykorzystania technologii amerykańskiej w budowie elektrowni jądrowej.

Reaktor wysokotemperaturowy chłodzony gazem

Temat wysokotemperaturowego reaktora chłodzonego gazem (HTGR) pojawił się w Polsce już w 2011 r., kiedy zostało sformułowane jedno z zadań strategicznego projektu badawczego NCBR pt. „Rozwój wysokotemperaturowych reaktorów do zastosowań przemysłowych (HTR-PL)”. Następnie nad koncepcją tego reaktora

w latach 2016-2017 pracował zespół powołany przez Ministra Energii, a raport z jego pracy omówiony został już na łamach PTJ¹³. Tu należy wyjaśnić, że Chińczycy budują reaktor HTR-PM w technologii usypanych kul w zbiorniku reaktora, a Polska nakierunkowuje się na reaktor pryzmatyczny według koncepcji realizowanej w Japonii w reaktorze badawczym HTTR.

Zgodnie z zaleceniem zespołu w styczniu 2019 r. podpisana została umowa na realizację projektu Gospostrateg-HTR zatytułowanego „Przygotowanie prawnych, organizacyjnych i technicznych środków dla rozwoju reaktorów HTR” przez konsorcjum w składzie Ministerstwo Klimatu (lider), Narodowe Centrum Badań Jądrowych i Instytut Chemii i Techniki Jądrowej. Zarys projektu przedstawiony został podczas wspomnianego już seminarium „Nuclear Energy Beyond Electricity”¹⁴ i podzielony został na dwie fazy:

- (A) „Prace badawcze. Przygotowanie instrumentów prawnych organizacyjnych i technicznych do wdrażania reaktorów HTR”, która obejmuje takie zadania jak:
1. Opracowanie metod diagnostyki materiałów strukturalnych w konstrukcji reaktora HTR,
 2. Opracowanie metod testowania materiałów strukturalnych w reaktorze jądrowym i wykonanie wyposażenia do testów w rdzeniu reaktora,
 3. Badanie i analiza wybranych aspektów chemicznych dla produkcji i wykorzystania paliwa TRISO w reaktorze HTR,
 4. Kompleksowa analiza koniecznych zmian środowiska prawnego oraz potencjalnych korzyści społecznych i ekonomiczno-przemysłowych dla gospodarki,
- (B) „Implementacja procedur w zaleceniach technicznych, szczególnie w warunkach polskiego Prawa atomowego”, która obejmuje:
5. Przygotowanie procesu licencjonowania (certyfikacji) reaktorów HTGR na przykładzie reaktora badawczego,
 6. Przygotowanie projektu regulacji prawnych dla realizacji inwestycji HTR; wypracowanie strategii w zakresie aspektów społecznych i ekonomiczno-przemysłowych projektu,
 7. Pilotaż procedur testów wykorzystania materiałów konstrukcyjnych na potrzeby projektu reaktora HTR, w tym testy w rdzeniu reaktora MARIA,
 8. Przygotowanie założeń techniczno-ekonomicznych dla budowy instalacji do produkcji paliwa do reaktorów wysokotemperaturowych.

Wydaje się, że przytoczone wyżej zadania badawcze nie przyczynią się do szybkiego rozwoju technologii reaktorów HTGR i przygotowania Polski do budowy

¹¹ <https://www.cire.pl/item,188099,1,0,0,0,0,0,synthos-chce-wybudowac-mala-elektrownie-jadrowa-o-mocy-300-mw.html>

¹² J. Burski: Stań za atomem: PTJ nr 4/2019, s. 57-59

¹³ A. Mikulski: Uwagi do raportu Zespołu Ministerstwa Energii ds. reaktora wysokotemperaturowego, PTJ nr 1/2018, s. 21-25

¹⁴ https://www.ifnec.org/ifnec/upload/docs/application/pdf/2019-09/2-2._scientific_project_for_htr_in_poland.pdf

i eksportu tych reaktorów jak szumnie zapowiadano we wcześniej wzmiankowanym raporcie Zespołu Ministerstwa Energii. Po trzech latach (realizacja projektu ma się zakończyć w styczniu 2022 r.) będziemy mieli teoretyczny projekt postępowania dozoru jądrowego, bliżej nieokreślone wyniki badań materiałów do budowy reaktora oraz założenia budowy fabryki paliwa dla tego reaktora. Wiadomo, jak trudna jest budowa takiego reaktora na przykładzie trwającej od 2012 r. konstrukcji reaktora HTR-PM powstającego w Chinach i jeśli mamy doczekać się konkretnych wyników, to trzeba posuwać się znacznie szerszym frontem działań technicznych i zaangażowania różnych zakładów przemysłowych, a nie przygotowań odpowiednich przepisów prawnych. Badania materiałów konstrukcyjnych na budowę części jądrowej reaktora to proces wieloletni i w Polsce dopiero należałoby stworzyć możliwości techniczne w tym kierunku, a wyników można oczekiwać za kilka lat. W chwili obecnej, jeśli chcemy budować, to trzeba korzystać ze znanych już materiałów konstrukcyjnych i najważniejsze materiałów certyfikowanych przez urzędy dozoru jądrowego. Nie jest chyba logiczne zajęcie się produkcją wyspecjalizowanego paliwa dla tego reaktora, to są tak skomplikowane zadania, że odpowiednią gotową technologię w przeszłości w Chinach zakupiono od Niemców. Co innego jest zajęcie się wycinkowym elementem procesu fabrykacji paliwa w ścisłym porozumieniu z jego producentem, ale o takich działaniach nic nie wiadomo.

Z cząstkowych, dostępnych w internecie informacji można się dowiedzieć, że NCBJ zlecił wykonanie pracy pt. „Usługi badawcze dotyczące przygotowania różnych konfiguracji reaktora HTGR dla Narodowego Centrum Badań Jądrowych Otwock – Świerk”¹⁵ z następującym krótkim opisem przedmiotu zamówienia, którym jest „przygotowanie różnych konfiguracji reaktora HTGR na potrzeby analizy ekonomicznej”. Zamówienie obejmuje następujące etapy:

I. Przygotowanie różnych konfiguracji rdzenia pryzmatycznego reaktora HTGR obejmujących:

1. Schemat rozmieszczenia paliwa TRISO z podziałem na strefy wzbogacenia,
2. Schemat oraz strategię przeładunku paliwa,
3. Metodę kompensacji reaktywności przy pomocy prętów kontrolnych oraz trucizn wypalających,

II. Przeprowadzenie analiz numerycznych dla rozważanych konfiguracji przeprowadzonych w złożonych obliczeniach z uwzględnieniem następujących procesów oraz zjawisk występujących w reaktorach HTGR:

1. Podwójna heterogeniczność rdzenia reaktora HTGR,
2. Wpływ temperatury na przekroje czynne reakcji jądrowych,

3. Wpływ ruchomych prętów kontrolnych na zaburzenia rozkładu strumienia neutronów, rozkładu gęstości mocy oraz temperatury,
4. Wypalanie paliwa jądrowego z dążeniem do kompozycji równowagowej.

Zamówienie zostało ogłoszone 23 września 2019 r. z terminem składania ofert do 1 października i wykonania pracy do 31 stycznia 2020 r., a w rozstrzygnięciu przetargu podano, że wykonania tej pracy podjęła się Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie. Nawet pobieżna analiza zakresu prac wskazuje, że nie można jej wykonać w okresie czterech miesięcy. Potrzeba na to 2-3 lata, albo jeszcze więcej i dosyć dużego zespołu. Poza tym niezbędne jest posiadanie projektu konstrukcyjnego reaktora oraz korzystanie z kodów obliczeniowych certyfikowanych przez urząd dozoru jądrowego, gdyż wyniki analiz zapewne posłużą do uzyskania licencji na budowę tego reaktora badawczego w Świerku. A jeśli tak, to w projekcie Gospostrateg-HTR od początku powinno brać udział przedsiębiorstwo przemysłowe, które mogłoby się podjąć wykonania projektu technicznego tego reaktora i następnie uczestniczyć w jego budowie.

Podsumowanie

Podsumowując przedstawione informacje, można stwierdzić, że utrzymuje się na świecie tendencja budowy dużych bloków energetycznych przez najbliższe 8-10 lat, ale nie rysują się dalsze plany inwestycyjne w tym zakresie. Z drugiej strony coraz więcej krajów zainteresowanych jest reaktorami małej mocy i ukazuje się wiele publikacji wskazujących, że jest to właściwy kierunek rozwoju energetyki jądrowej. Należałoby sobie życzyć, by w roku 2020 zapadły ostateczne decyzje, czy będziemy budować elektrownie jądrowe w Polsce, w oparciu o jakich dostawców technologii i o jakie reaktory chodzi: dużej mocy czy modularne małej mocy?

Prezentowany materiał przeglądowy oparty jest na materiałach dostarczonych przez instytucje krajowe i na powszechnie dostępnych, wiarygodnych materiałach z portali internetowych jak WNN i NucNet i mimo wielkiej staranności w zbieraniu informacji autor nie rości sobie pretensji, że materiał jest kompletny w stu procentach.

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

¹⁵ https://www.ncbj.gov.pl/sites/default/files/przetargi_i_zamowienia/%5Btitle%5D/ogloszenie_o_zamowieniu_177.pdf

NIEELEKTRYCZNE ZASTOSOWANIA ENERGII JĄDROWEJ – KOGENERACJA I WODÓR

Non-electrical applications of nuclear energy – cogeneration and hydrogen

Józef Sobolewski

Streszczenie: W artykule tym autor przedstawia zastosowania energetyki jądrowej wykraczające poza generację energii elektrycznej, będące tematem spotkania grupy roboczej IFNEC. Zastosowanie technologii reaktorów wysokotemperaturowych otwiera możliwości zastosowania w przemyśle do wytwarzania pary przemysłowej oraz w dalszej kolejności do produkcji paliwa przyszłości – wodoru.

Abstract: In this article, the author presents applications of nuclear energy beyond the generation of electricity, which were the subject of the meeting of the IFNEC working group. The use of high-temperature reactor technology opens up possibilities for industrial applications for the production of industrial steam and, subsequently, for the production of future fuel - hydrogen.

Słowa kluczowe: energia jądrowa poza elektrycznością, mały reaktor modułowy, reaktor wysokotemperaturowy, kogeneracja, ciepło procesowe, wodór.

Keywords: nuclear energy beyond electricity, small modular reactor (SMR), high temperature reactor (HTR), cogeneration, processing heat, hydrogen.

Jesienią ubiegłego roku w Warszawie odbyło się spotkanie grupy roboczej ds. rozwoju infrastruktury jądrowej IDWG (Infrastructure Development Working Group) działającej w ramach międzynarodowej organizacji współpracy państw sprzyjających rozwojowi energetyki jądrowej IFNEC (International Framework for Nuclear Energy Cooperation: www.ifnec.org). Organizacja ta poprzez różne grupy robocze zajmuje się współpracą na płaszczyźnie merytorycznej związanej z energią jądrową i co też ważne zrzesza wyłącznie państwa zainteresowane rozwojem energetyki jądrowej. Warszawskie spotkanie przeszło bez większego echa medialnego, choć tematyka spotkania była bardzo ciekawa i dotyczyła zastosowań energii jądrowej innych niż wytwarzanie energii elektrycznej, szczególnie z zastosowaniem reaktorów wysokotemperaturowych zaliczanych obecnie także do klasy reaktorów modułowych.

Technologia jądrowa jest dziś szeroko stosowana do wytwarzania energii elektrycznej bez negatywnego wpływu na środowisko. Brak szkodliwych emisji, niewielki obszar potrzebny do umiejscowienia elektrowni, bardzo niewielka ilość odpadów, to niektóre z kluczowych cech technologii jądrowej. W Unii Europejskiej 26% energii elektrycznej wytwarzane jest w elektrowniach jądrowych, stanowiąc połowę wy-

tworzonej bezemisyjnej energii elektrycznej. Energia elektryczna w skali świata stanowi tylko 18% całkowitej zużywanej energii. Reszta to głównie wytwarzanie ciepła i transport, dziś prawie w całości zdominowanych przez źródła wysokoemisyjne. Wytwarzanie ciepła przemysłowego (procesowego), ogrzewanie miejskie poprzez kogenerację energii elektrycznej i ciepła, wytwarzanie wodoru i paliw syntetycznych do transportu mogłyby i powinny być nowymi terytoriami zajmowanym przez energię jądrową, szczególnie z punktu widzenia celów związanych z obniżeniem emisyjności tych sektorów.

W trakcie spotkania IDWG omawiano szeroko tematy związane z nieelektrycznymi zastosowaniami energii jądrowej oraz kluczową rolę, jaką reaktory wysokotemperaturowe (HTR) mogłyby odgrywać w dostarczaniu ciepła procesowego oraz energii elektrycznej w kogeneracji z ciepłem grzewczym. Ostatnia sesja koncentrowała się na roli wodoru, jednego z najbardziej obiecujących źródeł bezemisyjnej energii, który można efektywnie wytwarzać dzięki energii jądrowej. Prezentacje ze spotkania dostępne są na stronie internetowej IFNEC. W niniejszym artykule chciałbym przybliżyć czytelnikom tematykę omawianą przez uczestników spotkania.

Nieelektryczne zastosowania energii jądrowej – korzyści ekonomiczne i środowiskowe

Eksperti z Polski, z Agencji Energii Jądrowej należącej do Organizacji Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (NEA OECD) oraz z Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (IAEA) przedstawili z bardzo różnych punktów widzenia wielowątkowe korzyści wynikające z zastosowania energii jądrowej. Podkreślono, że najważniejszym czynnikiem wpływającym na wzrost zużycia energii w świecie są często w Unii Europejskiej pomijane dwa globalne aspekty: wzrost liczby ludności i urbanizacja. Te dwa wzrastające praktycznie eksponencjalnie czynniki i wynikający z nich jeszcze szybszy wzrost zapotrzebowania na energię nie jest możliwy do pokrycia wyłącznie przez źródła odnawialne. W związku z tym zużycie paliw kopalnych będzie wzrastać przez najbliższe dziesięciolecia bez względu na zwoływane, co roku, konferencje klimatyczne. Nikt nie może zabronić rosnącym populacjom w Azji czy w Afryce korzyści wynikających z dostępu do energii. Energetyka jądrowa mogłaby częściowo pomóc rozwiązać te problemy, jednakże ruchy antyjądrowe, szczególnie w zachodniej Europie, skutecznie opóźniają tego typu działania.

Mimo tych niesprzyjających działań istnieje szereg zastosowań energii jądrowej, czy promieniowania jonizującego, które nawet w zachodniej Europie nie budzą takich kontrowersji, jak energetyczne wykorzystanie energii jądrowej. Technologie jądrowe stosuje się w przemyśle, górnictwie, hydrologii, rolnictwie, ale także w takich, wydawałoby się odległych dziedzinach, jak sztuka, archeologia czy środowisko. Bez baterii radioizotopowych nie byłaby możliwa eksploracja kosmosu. Sondy Voyager, które opuściły nasz układ słoneczny, funkcjonują nadal dzięki bateriom radioizotopowym (^{238}Pu). Medycyna nuklearna jest najbardziej znanym zastosowaniem technologii jądrowych. Ocenia się, że rocznie wykonuje się około 40 mln procedur z zakresu medycyny nuklearnej, a popyt na potrzebne radioizotopy rośnie regularnie o 5% rocznie. Oprócz diagnostyki najważniejszym obszarem jest radioterapia, główny obok chemii, oręż w walce z nowotworami. Ważne jest też użycie promieniowania jonizującego do sterylizacji produktów medycznych.

Najważniejszym obecnie kierunkiem rozwoju technologii jądrowych, co szczególnie podkreślali przedstawiciele NEA OECD i IAEA jest wejście w obszary związane z bezemisyjnym wytwarzaniem ciepła i bezemisyjnym transportem. Głównym narzędziem do tego celu mają być małe modularne reaktory (SMR, nie mylić z small-medium-reactor). Pod tą nazwą ukrywa się szereg różnych technologii, których cechą wspólną jest mała wielkość ich mocy, rozmiary fizyczne umożliwiające łatwy transport lądowy i seryjna produkcja w jed-

nej fabryce. Te zasady mają znacząco obniżyć koszty inwestycyjne na pojedynczy reaktor, ale co naturalnie podwyższą koszty wytwarzania energii w porównaniu do dużych reaktorów energetycznych. Ciepło z dużych reaktorów energetycznych w całości przeznaczają się na generację energii elektrycznej, choć w wielu przypadkach, już obecnie, stosuje się je także w sieciach ciepłowniczych, co ze względu na niekiedy znaczną odległość elektrowni od odbiorców ciepła (miast) nie jest powszechne. Istotną cechą małych reaktorów jest ich wewnętrzne bezpieczeństwo, to jest niemożność stopienia rdzenia reaktora po ustaniu wymuszanego chłodzenia ze względu na ich małą moc i związaną z tym ilość ciepła powyłączeniowego, co pozwala je lokować znacznie bliżej zamieszkałych obszarów.

Najwięcej projektów reaktorów modułowych to obecnie małe wersje dużych reaktorów energetycznych typu PWR, które mogą być użyte do ogrzewania miejskiego i kogeneracji, ze względu na porównywalną z dużymi reaktorami temperaturę na wyjściu. Z tego względu małe reaktory energetyczne mają zastosowanie, tam gdzie nie ma (lub jest słaby) dostęp do sieci przesyłowej. Bardziej egzotyczne z naszego punktu widzenia jest użycie ciepła z tego typu reaktorów do odsalania wody morskiej. Wejście w wyższe temperatury, związane z poszerzeniem zastosowań reaktorów, wymaga rezygnacji z wody, jako czynnika chłodzącego i przejście na gazy lub ciekłe metale, czy sole. Tego typu reaktory określane, jako reaktory wysokotemperaturowe (HTR) mogą być zastosowane do produkcji ciepła przemysłowego (550°C), a przy jeszcze wyższych temperaturach (950°C), na przykład do produkcji wodoru w procesie termochemicznego rozszczepienia wody.

Najbardziej zaawansowane w rozwoju, ocierające się już o komercjalizację, są obecnie dwa typy małych reaktorów. Pierwsze to małe wodne reaktory, których wojskowe wersje używane są już od kilkudziesięciu lat. Reaktory wojskowe różnią się konstrukcyjnie od reaktorów cywilnych, ale najistotniejsze jest to, że pracują na bardzo wysokowzbogaconym uranie, który może posłużyć do budowy broni jądrowej. Ponieważ rozważamy tylko cywilne zastosowania, bazujące na niskowzbogaconym uranie, obecnie jedynym producentem i użytkownikiem tego typu reaktorów jest Rosja. Opisywana w prasie pływająca platforma z dwoma reaktorami typu SMR (Akademik Łomonosow) dotarła już do miejsca swego przeznaczenia i rozpoczęła wytwarzanie energii. W budowie znajduje się kolejna analogiczna pływająca elektrownia. Intensywne prace nad cywilnymi rozwiązaniami prowadzone są głównie w USA i Kanadzie, gdzie głównym obszarem dla zastosowania tego typu SMR będą północne rejony Kanady i obszary o słabo rozwiniętej sieci przesyłowej. Drugim typem bliskim zastosowania są reaktory wysokotemperaturowe

we. W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat zbudowano szereg reaktorów badawczo-rozwojowych i nadszedł już czas na komercjalizację. Ze względu na osiąganie kilkakrotnie wyższych temperatur na wyjściu niż reaktory wodne, reaktory te mają o wiele szersze spektrum zastosowań, od wysokosprawnej kogeneracji po produkcję wodoru.

Reaktory wysokotemperaturowe (HTR) – poza wytwarzaniem elektryczności

W tej części spotkania skupiono się na ocenie aktualnego stanu badań nad reaktorami wysokotemperaturowymi (HTR, poniżej 950°C), także w wersji bardzo wysokotemperaturowej (VHTR, powyżej 1000°C).

Przedstawiciel Gen IV International Forum (GIF) przedstawił wyniki współpracy w ramach tej organizacji międzynarodowej dotyczące badań nad materiałami, nad paliwem i cyklem paliwowym, nad metodami produkcji wodoru i nad symulacjami komputerowymi reaktora typu VHTR. W programie tym zgodnie współpracuje 9 sygnatariuszy w tym m.in. USA, Rosja, Chiny i Unia Europejska. Dzięki szerokiemu spektrum możliwości do osiągnięcia temperatur na wyjściu z reaktora oprócz standardowego już wykorzystania produkowanego ciepła do ogrzewania, odsalania, czy wysokosprawnego wytwarzania energii elektrycznej, reaktory te mogą dostarczyć parę technologiczną (>500°C) dla chemii i petrochemii, do reformingu gazu, upłynnianiu węgla, czy termochemicznej produkcji wodoru (binarna piroliza). Obecnie w świecie prowadzonych jest kilkanaście projektów reaktorów wysokotemperaturowych o różnym stopniu zaawansowania.

Przedstawiciel Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) przedstawił polski udział w projektach HTR. Najważniejsze z projektów międzynarodowych, w których Polska odgrywa zasadniczą rolę to współfinansowane przez UE projekty GEMINI+ (rozwój reaktorów wysokotemperaturowych chłodzonych gazem, HTGR) oraz NOMATEN (rozwój materiałów do użycia w ekstremalnych warunkach, np. dla HTGR). Polska posiada także swój własny program finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) dotyczący przygotowania instrumentów prawnych, organizacyjnych i technicznych do wdrożenia reaktorów wysokotemperaturowych (GOSPOSTRATEG-HTR). Projekt realizowany jest przez NCBJ i Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) pod przewodnictwem Ministerstwa Energii (obecnie Ministerstwo Klimatu).

Przedstawiciel Chin przedstawił realizowany konsekwentnie od lat 70. program wdrożenia reaktorów wysokotemperaturowych. Chiny wybrały technologię HTGR-PM (rdzeń kulowy chłodzony helem, temperatu-

ra na wyjściu 750°C) i są obecnie najbardziej zaawansowane w komercjalizacji tej technologii. Pierwszym zastosowaniem będzie wysokosprawne generowanie energii elektrycznej. Budowana w Shidao Bay elektrownia jądrowa składa się z dwóch reaktorów typu HTGR-PM o mocy 250 MWth, dających parę na jedną turbinę o mocy 211 MWe. Prace instalacyjne mają być zakończone w tym roku, a rozpoczęcie normalnej eksploatacji w 2021 r. W planach jest budowa kolejnej elektrowni złożonej z 6 reaktorów HTGR-PM o mocy 655 MWe. Chiny będą doskonalić technologię HTR na rynku energii elektrycznej, prowadząc jednocześnie badania nad zastosowaniem tego typu reaktorów w produkcji ciepła procesowego i wodoru oraz nad zwiększaniem temperatury wyjściowej z reaktora.

Przedstawiciel Rosji zaprezentował prowadzone od lat 70. prace nad reaktorami HTGR, które zakończyły się konkretnymi projektami technicznymi. Podjęte w połowie lat 80. decyzje o budowie 5 reaktorów do produkcji ciepła procesowego oraz energii elektrycznej nie zostały zrealizowane. Ponownie podjęte po roku 2000 prace skoncentrowały się na reaktorach mających służyć głównie produkcji wodoru. Planuje się budowę pierwszych instalacji do wytwarzania wodoru w oparciu o reaktory HTGR w latach 2024-2030.

Przedstawiciel Japonii tradycyjnie przedstawił meandry japońskiej polityki energetycznej po Fukushima. W Japonii jest jedyny poza Chinami obecnie funkcjonujący reaktor HTGR (z rdzeniem pryzmatycznym) wyłączony po Fukushima. Japończycy zapowiadają ponowne uruchomienie reaktora w 2021 r. Japoński HTGR (HTTR) o mocy 30 MWth jest jednostką badawczą, mającą inną technologię budowy rdzenia niż reaktor chiński. Budując ten reaktor, zakładano osiągnięcie parametrów umożliwiających binarną pirolizę wodoru z wody w cyklu jodowo-siarkowym (I-S), stąd temperatura na wyjściu to 950°C. W ramach testów reaktor pracował na pełnej mocy nieprzerwanie przez dwa miesiące. Wykonano także bardzo ważny test bezpieczeństwa i na 1/3 mocy reaktora wyłączono jego chłodzenie. Reaktor w kilka dni wychłodził się pasywnie poprzez konwekcję, udowadniając eksperymentalnie swoje inherentne bezpieczeństwo i zdolność do działania z zerową strefą bezpieczeństwa.

Przyszłość wodoru i rozwój innowacyjnych systemów jądrowych

Wodór – wspólny element naszej przyszłości energetycznej. Takim zdaniem rozpoczął swoją prezentację przedstawiciel Międzynarodowej Agencji Energii (IEA), przedstawiając wodór, jako element łączący wszystkie przyszłe wyzwania stojące przed energetyką. Jednakże wyzwania stoją także przed samym wodorem, są

to koszty produkcji, wymagana infrastruktura, bezemisyjna produkcja i bariery regulacyjne. Obecnie wodór produkowany jest praktycznie wyłącznie z paliw kopalnych i średnio na każdy 1 kg wyprodukowanego wodoru emituje się 10 kg CO₂. Głównym problemem są koszty. Wyprodukowanie wodoru przy użyciu energii ze źródeł odnawialnych (niskotemperaturowa elektroliza wody) jest średnio czterokrotnie droższe, od dotychczasowych rozwiązań. Reaktory wysokotemperaturowe są idealnym rozwiązaniem dającym możliwość użycia wszystkich obecnie opracowanych metod produkcji czystego wodoru, od niskotemperaturowej elektrolizy do wysokotemperaturowej binarnej pirolizy wody, w sposób dostosowany do bieżącego zapotrzebowania.

Ten ostatni aspekt produkcji wodoru omówił przedstawiciel Japonii, przedstawiając wyniki testów przeprowadzonych na japońskim reaktorze HTTR. Badawcza instalacja do produkcji wodoru i tlenu w oparciu termochemiczne rozczepienie wody w zamkniętym cyklu I-S wymaga temperatur sięgających 950°C, ale jedyne, co emituje to wodór i tlen. Obecnie, mimo braku energii z HTTR nadal trwają prace przystosowujące instalację produkcyjną wodoru do komercjalizacji, natomiast po ponownym uruchomieniu HTTR ruszy testowa produkcja. W oparciu o reaktory wysokotemperaturowe wypracowano w Japonii propozycje realnego bezemisyjnego systemu elektroenergetycznego łączącego energetykę jądrową z odnawialną poprzez właśnie wodór. W podstawie systemu pracują klasyczne elektrownie jądrowe i hydroenergetyka, zaś w obszarze zmiennym hybrydowe systemy HTGR z H₂ plus energia wiatrowa i fotowoltaiczna. W przypadku nadmiaru produkcji energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych wykorzystuje się ją w procesie wytwarzania wodoru w cyklu I-S (ciepło z HTGR), zaś w przypadku braku energii odnawialnej do produkcji energii elektrycznej wykorzystuje się HTGR oraz zmagazynowany wodór.

Cechą charakterystyczną reaktorów wysokotemperaturowych jest użycie specjalnego typu paliwa określanego mianem TRISO. Materiał rozszczepialny zamykany jest w małych (<1mm) kuleczkach zbudowanych z kilku warstw materiału ceramicznego, który wytrzymuje temperatury do 2000°C. Przedstawiciele dwóch firm zajmujących się produkcją uranu do celów energetycznych, europejskiej i amerykańskiej przedstawili problematykę cyklu paliwowego dla reaktorów jądrowych. Obecnie standardowo używane jest paliwo uranowe wzbogacone do 5% uranu rozszczepialnego (²³⁵U) i do tego są przygotowane fabryki. Jednakże efektywność pracy reaktorów wysokotemperaturowych jest lepsza przy wyższym wzbogaceniu, zaś obowiązujące traktaty międzynarodowe umożliwiają użycie do celów cywil-

nych wyłącznie tak zwanego niskowzbożonego uranu (LEU) do 19,75% ²³⁵U. Obie firmy przedstawiły także swoje rozwiązania w zakresie tak zwanych MMR (micro modular reactor). Są to reaktory bardzo małej mocy, 4-5 MWe. Reaktory te, typu HTGR, są projektowane do użycia, jako źródła ciepła procesowego i wytwarzania energii elektrycznej w odosobnionych geograficznie miejscach i niewykluczone, że pierwsze zastosowania HTGR poza Chinami i Japonią znajdą miejsce w północnej Kanadzie, lub ...w armii amerykańskiej.

Na zakończenie przedstawiciel NEA OECD przedstawił inicjatywę pod nazwą Nuclear Innovation 2050, która ma przyspieszyć prace badawczo-rozwojowe i rozwój rynku dla innowacyjnych technologii jądrowych wnoszących wkład do przyszłości zrównoważonej energetyki.

Poglądy niebędące poglądami autorów prezentacji przedstawione w tym artykule są prywatnymi opiniami dra Józefa Sobolewskiego i nie reprezentują stanowiska żadnej instytucji.

*dr Józef Sobolewski,
Warszawa*

Powyższy tekst jest nieco zmodyfikowaną wersją artykułu, który ukazał się na portalu BiznesAlert 11 października 2019 r. Przedruk za zgodą autora.

Notka o autorze

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



PET-MOF-CLEANWATER WSPÓLNY PROJEKT POLSKA – REPUBLIKA POŁUDNIOWEJ AFRYKI

PET-MOF-CLEANWATER Joint Poland – South Africa Project

Bożena Sartowska

Streszczenie: Celem projektu PET-MOF-CLEANWATER jest wytworzenie nowych zaawansowanych materiałów adsorpcyjnych na bazie porowatych metaloorganicznych polimerów koordynacyjnych (sorbenty typu MOF) z wykorzystaniem odpadów PET jako surowca do pozyskania liganda tereftalowego. Uzyskano pozytywne wyniki badań laboratoryjnych. Prowadzone są prace dla wykazania przydatności materiałów sorpcyjnych produkowanych z wykorzystaniem odpadowego PET do usuwania szkodliwych pierwiastków z roztworów wodnych.

Abstract: The aim of PET-MOF-CLEANWATER project is to produce new advance sorption materials on the base of porous metaloorganic coordinated polymers (sorbents MOF type) with using terephthalic linker recovered from waste PET. The positive results of laboratory investigations were obtained. Works for removal of the hazardous elements removal from water solutions using sorption materials formed from waste PET are carried out.

Słowa Kluczowe: PET – Polyethylene terephthalate, MOF – Metal Organic Framework, kwas tereftalowy, usuwanie szkodliwych pierwiastków z wody

Keywords: PET – Polyethylene terephthalate, MOF – Metal Organic Framework, terephthalic acid, hazardous elements removal from water solutions

Od 2019 r. realizowany jest projekt o akronimie: **PET-MOF-CLEANWATER** i tytule: (pol.) Wykorzystanie odpadów PET do syntezy porowatych sorbentów metalo-organicznych (MOF) jako konkurencyjnych ekonomicznie adsorbentów do usuwania niebezpiecznych pierwiastków z zanieczyszczonej wody, (ang.) The studies on waste PET – derived metal organic frameworks (MOFs) as cost – effective adsorbents for removal of hazardous elements from polluted water.

Projekt realizowany jest przez Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ), Polska oraz Council for Scientific and Industrial Research (CSIR), Republika Południowej Afryki. Wsparcie finansowe pochodzi z Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR), Polska oraz National Research Foundation (NFSC), Republika Południowej Afryki.

Celem projektu jest wytworzenie materiałów adsorpcyjnych na bazie porowatych metaloorganicznych polimerów koordynacyjnych (sorbenty typu MOF) z wykorzystaniem odpadów PET jako surowca do pozyskania liganda tereftalowego. Pozytywne wyniki badań laboratoryjnych czynią zasadną kwestię zwiększenia skali procesu oraz wykazania przydatno-

ści materiałów sorpcyjnych produkowanych z wykorzystaniem odpadowego PET do usuwania pierwiastków toksycznych z roztworów wodnych.

W ramach projektu prowadzone są badania nad usuwaniem metali ciężkich (Cd⁺, Hg²⁺) oraz usuwaniem pierwiastków radioaktywnych, (anionu ^{99m}TcO⁴⁻) z roztworów wodnych, jak i z symulowanego roztworu nisko-aktywnych odpadów promieniotwórczych powstających w zakładach przerobu paliwa jądrowego w Hanford.

The Council for Scientific and Industrial Research (CSIR) jest wiodącą organizacją naukową RPA gdzie realizowane są badania w celu przyspieszenia rozwoju socjo-ekonomicznego kraju. Organizacja odgrywa kluczową rolę we wsparciu publicznego i prywatnego sektora poprzez ukierunkowane badania naukowe, rozwojowe i aplikacyjne. Kierunki badań są wytyczane i realizowane zgodnie z naukowymi, inżynierskimi i technologicznymi kompetencjami. Cele działalności CSIR to: prowadzenie badań naukowych, rozwój i innowacje; rozwój i wzmacnianie kompetencji nauki i przemysłu; realizacja socjo-ekonomicznych przemian kraju poprzez działalność RD&I; transfer zasobów ludzkich i infrastruktury, rozdział posiadanych

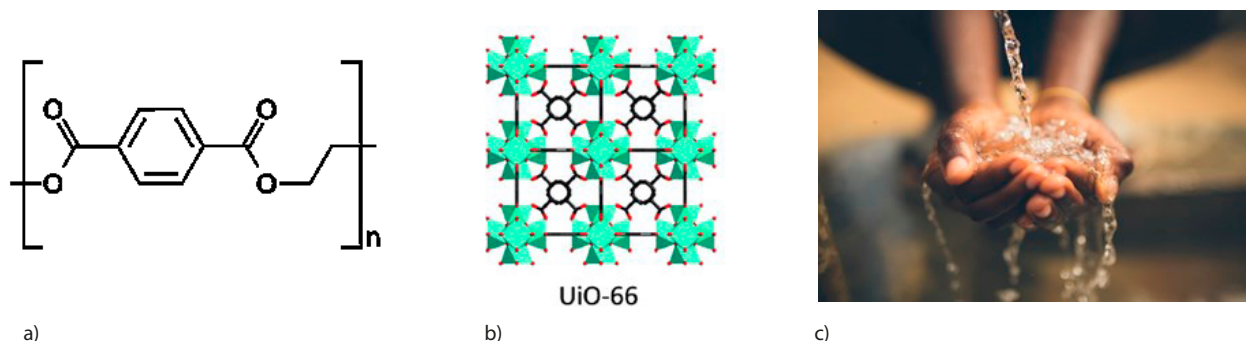
środków, zrównoważone finansowanie i dobre zarządzanie. Możliwość depolimeryzacji odpadowego PET została wykazana ostatnio w badaniach laboratoryjnych przeprowadzonych w CSIRO (RPA) dla dwu stabilnych w wodzie struktur MOF znanych jako MIL-101(Cr) i UiO-66(Zr). Zadaniem zespołu CSIR kierowanego przez prof. Jianwei REN jest wyprodukowanie sorbentów w skali kilogramowej. Szczególna uwaga zostanie zwrócona na sorbenty cechujące się dużą trwałością w środowisku wodnym (odpornością na hydrolizę). W tym celu w pierwszej kolejności zostaną rozważone sorbenty zawierające w węzłach metalicznych cyrkon (sorbent o topologii UiO-66), chrom i żelazo (sorbent o topologii MIL-101).

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej jest wiodącym w kraju ośrodkiem w dziedzinie chemii jądrowej, chemii radiacyjnej i radiobiologii. Instytut ma wieloletnie doświadczenie teoretyczne i praktyczne w zakresie separacji radionuklidów z wykorzystaniem różnorodnych technik rozdziału. W zakresie badania procesów sorpcyjnych stosowana jest w Instytucie czuła metoda znaczników izotopowych. Badania procesów sorpcyjnych prowadzone są zarówno w warunkach statycznych jak i dynamicznych. Istnieje ponadto możliwość zbadania przydatności syntezowanych sorbentów

tody badań strukturalnych oraz wyznaczenia parametrów struktury porowatej. Planowane jest również wykorzystanie badawczych technik jądrowych, takich jak metoda znaczników izotopowych.

W zakresie głównego celu badań – wyznaczenia zdolności sorpcyjnych dla wybranych jonów metali ciężkich z roztworów wodnych (Cd^+ , Hg^{2+}) oraz anionu technetu (TcO^4-) – zostaną przeprowadzone badania izoterm adsorpcji przy zastosowaniu metody znaczników izotopowych. Wybrane jony Cd^{2+} , Hg^{2+} i anion TcO^4- są ważne ze względu na ochronę środowiska. Kadm jest bardzo toksyczny, a jego związki są klasyfikowane przez Międzynarodową Agencję Badań nad Rakiem jako należące do grupy pierwszej związków rakotwórczych. Rtęć w środowisku występuje głównie w postaci Hg^{2+} , Hg_2^{2+} i CH_3Hg^+ . Metylek rtęci jest bardzo toksyczny. Technet jest radioaktywnym sztucznym pierwiastkiem. Najdłużej żyjącym izotopem technetu jest ^{97}Tc mający półokres rozpadu wynoszący $4,2 \times 10^6$ lat. W środowisku najczęściej występuje izotop ^{99}Tc ($T_{1/2} = 2,1 \times 10^5$ lat) będący produktem rozszczepienia ^{235}U .

Akronim PET-MOF-CLEANWATER oddaje tematykę trzech części projektu.



Rys. 1. Schemat części projektu: a) monomer PET, b) struktura MOF UiO-66, c) czysta woda jest podstawową potrzebą dla rozwoju życia na Ziemi zarówno dla człowieka jak i dla zwierząt i roślin

Fig. 1. Diagram of parts of the project: a) PET monomer, b) MOF UiO-66 structure, c) clean water is a basic need for the development of life on Earth for both man and animals and plants

typu MOF w rzeczywistych układach przepływowych stosowanych do eliminacji zanieczyszczeń metalicznych i radioaktywnych z roztworów wodnych. Instytut posiada również oryginalny dorobek w zakresie syntezy polimerów koordynacyjnych – struktur metaloorganicznych, wyrażających się liczbą 103 struktur, opisanych w literaturze naukowej i zdeponowanych w bazie danych Cambridge Structural Database. Zadaniem zespołu IChTJ kierowanego przez dra Wojciecha STAROSTĘ jest wszechstronna charakteryzacja sorbentów wyprodukowanych przez CSIR pod kątem ich właściwości strukturalnych i fizykochemicznych. W tym celu zastosowane zostaną standardowe me-

(i) PET – Polyethylene terephthalate

PET jest tworzywem sztucznym należącym do termoplastycznych poliestrów.

Otrzymywany jest metodą syntezy z kwasu tereftalowego (TA, z ang. *terephthalic acid*) oraz glikolu etylenowego. Wybrane właściwości fizyczne PET: średnia masa cząsteczkowa 30–80 tys. Da; temperatura zeszklenia 70–115 °C; temperatura mięknięcia 265 °C; gęstość około 1,4 g/cm³. Najważniejsze właściwości użytkowe PET: dobre właściwości mechaniczne zapewniające odpowiednią giętkość; dobre właściwości suwne i poślizgowe; wysoka odporność

na ścieranie; odporność chemiczna na słabe kwasy i roztwory zasad oraz oleje i tłuszcze, wysoka stabilność wymiarowa, łatwość obróbki i polerowania; twarda i mocna powierzchnia; niska odporność na gorącą wodę, stężone kwasy i roztwory zasad. Popularność PET jako materiału opakowaniowego wynika z właściwości tego polimeru, a szczególnie przezroczystości podobnej do szkła i niewielkiej masy, co w połączeniu z elastycznością i odpornością mechaniczną sprawia, że opakowania z tego tworzywa są odporne na stłuczenia.

PET jest szeroko stosowany do wytwarzania opakowań do żywności: butelki – soki owocowe, wody mineralne (niegazowane i gazowane), piwo, oleje jadalne; słoiki – dżemy, owoce suszone, produkty spożywcze suche; tacki – dania gotowe do odgrzewania w kuchenkach mikrofalowych, wyroby cukiernicze i piekarnicze, warzywa, owoce; folie i folie metalizowane – produkty do gotowania w torebkach, przekąski, orzechy, słodycze, lody; wyroby z PET z dodatkową barierą tlenu – piwo, próżniowo pakowane przetwory mleczarskie i mięsne, wino w opakowaniach typu Bag In Box, kawa, ciastka, syropy. Z włókien wytworzonych z PET produkuje się dzianiny i tkaniny, między innymi polar, dakron i tergal (np. do produkcji płócien żaglowych), liny i tym podobne.



Fot. 1. Generujemy zdecydowanie za dużo plastikowych odpadów
Photo. 1. Plastic wastes were produced in the strongly too much amount

Składowanie odpadów PET jest poważnym problemem ekologicznym z uwagi na niską biodegradowalność tego materiału w środowisku. Każdego roku do mórz i oceanów trafiają miliony ton plastikowych śmieci. Większe i mniejsze (tzw. mikroplastik) jego cząsteczki stanowią ogromne zagrożenie dla morskich ekosystemów.

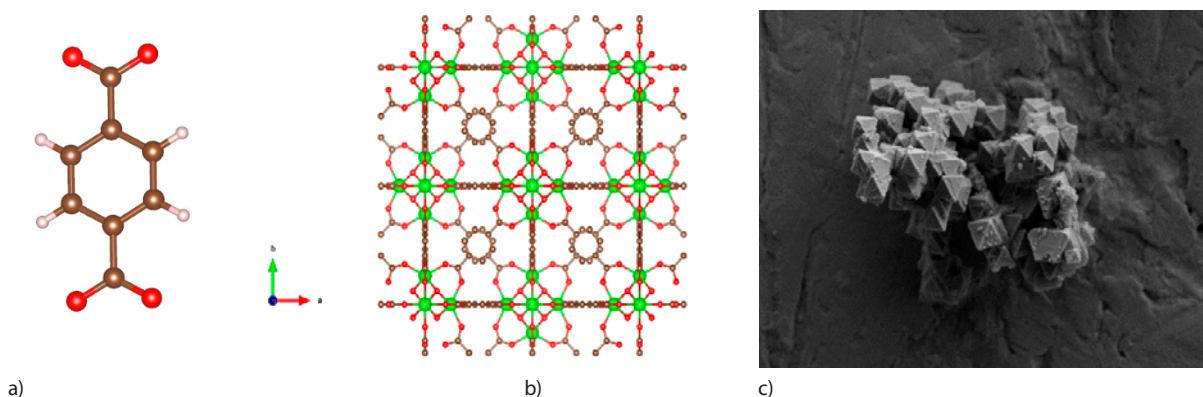
W tej części projektu z odpadów PET zostanie odzyskany organiczny ligand – kwas tereftalowy.

(ii) MOF – Metal Organic Frameworks

Cechą charakterystyczną budowy materiałów porowatych typu MOF jest koordynacyjne połączenie kationów metalicznych („węzłów” szkieletu) z ligandami organicznymi, które stanowią łączniki między segmentami nieorganicznymi i wspólnie tworzą wielowymiarowe sieci. Łączniki organiczne są cząsteczkami zawierającymi przynajmniej dwie grupy funkcyjne, zdolne do tworzenia połączeń koordynacyjnych z nieorganicznymi kationami. Duża różnorodność stosowanych kationów metalicznych i ligandów organicznych stwarza możliwość tworzenia olbrzymiej liczby potencjalnych struktur o różnorodnej geometrii i właściwościach. Porowate struktury metaloorganiczne stanowią nową generacją materiałów sorpcyjnych po zeolitach i węgla aktywowanym. Cechą charakterystyczną tych materiałów jest możliwość tworzenia w szerokim zakresie ich struktury porowatej, w szczególności takich parametrów jak rozmiar i geometria okien, rozmiar komór, obecność grup funkcyjnych na ściankach komór, poprzez odpowiedni dobór metalu i liganda. Stwarza to możliwość syntezy materiału o parametrach dostosowanych do przewidywanego zastosowania.

Do syntezy materiałów MOF najczęściej wykorzystywane są kationy metali przejściowych takich jak np.: Zn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} . Stosowane są również metale ziem alkalicznych (np. Ca, Sr, Ba, Ra), metale grup głównych układu okresowego (np. Sn, Al) czy metale ziem rzadkich (np. Sc, Y, lantanowce). Rodzaj użytego pierwiastka, jego wartościowość, a także typowe dla niego liczby koordynacyjne wpływają na geometrię powstającej struktury MOF. Istotnym parametrem wykorzystywanych ligandów organicznych jest ich geometria oraz długość. Na uwagę zasługuje fakt zsyntetyzowania stabilnych w środowisku wodnym struktur, do których syntezy potrzebny jest stosunkowo prosty ligand, jakim jest kwas tereftalowy:

- i. MIL-53 (kwas tereftalowy + M = Al, Fe, V)
- ii. MIL 101 (kwas tereftalowy + Cr)
- iii. UiO-66 (kwas tereftalowy + Zr)



Rys. 2. UiO-66 MOF: a) ligand – kwas tereftalowy, b) struktura krystaliczna, c) obraz z mikroskopu elektronowego kryształów struktury syntetyzowanej z wykorzystaniem kwasu tereftalowego odzyskanego z PET

Fig. 2. UiO-66 MOF: a) linker – terephthalic acid, b) crystallic structure, c) SEM images of crystals of samples from PET-derived terephthalic acid

Partnerzy z Republiki Południowej Afryki zdemontowali ostatnio możliwość depolimeryzacji PET i wykorzystania kwasu tereftalowego do produkcji sorbentów typu MOF takich jak UiO-66 oraz MIL-101.

W tej części projektu zostaną zsyntetyzowane struktury porowate typu MOF z wykorzystaniem kwasu tereftalowego jako liganda.

(iii) CLEANWATER

Woda jest środowiskiem dla milionów gatunków, począwszy od najdrobniejszych organizmów mierzonych w mikronach po płetwale błękitne o długości do 30 m i wadze do 200 ton. Dla nas – ludzi – woda jest nie tylko zasobem niezbędnym do prawidłowego funkcjonowania naszych organizmów, lecz także zasobem, z którego korzystamy.

Zanieczyszczenie środowiska wodnego, wód powierzchniowych i gruntowych, jest poważnym problemem ekologicznym, mającym wpływ nie tylko na stan zdrowia ludzi, ale też na kondycję całego ekosystemu. Źródła zanieczyszczeń środowiska są wielorakie. Są to na przykład: emisja pyłów do atmosfery, składowanie odpadów, spalanie odpadów, ścieki miejskie, emisja związana z środkami transportu, stosowanie nawozów sztucznych, górnicza eksploatacja surowców i towarzyszące jej powstawanie kwaśnych wód kopalnianych. Należy tu też wymienić katastrofy ekologiczne. Przykładem takiej katastrofy jest wypadek w elektrowni jądrowej w Fukushima w 2011 r. W jej wyniku nastąpiło poważne skażenie wód i gleby w otoczeniu elektrowni materiałami jądrowymi (uran

i pluton) oraz produktami ich rozpadu (Sr, Cs, Ru, I, Xe, Ln itd.). Ponadto na terenie elektrowni zgromadzona została znaczna ilość wody pochodzącej z chłodzenia zanieczyszczonej radioaktywnym strontem i cezem, która wymagać będzie dekontaminacji przed dokonaniem jej rzutu do środowiska.

W tej części projektu zostaną przeprowadzone eksperymentalne procesy oczyszczania wody z niebezpiecznych jonów metali z wykorzystaniem nowych specjalnych sorbentów – struktur porowatych typu MOF zsyntetyzowanych w części drugiej projektu.

Projekt **PET-MOF-CLEANWATER** dotyczy bardzo ważnego zagadnienia, a mianowicie ochrony środowiska naturalnego. Ważne są tu dwa główne aspekty, które zostały podjęte w proponowanym projekcie:

- i. zmniejszenie ilości odpadów PET w środowisku i potraktowanie ich jako źródło surowca do wytworzenia specjalnych nowych sorbentów,
- ii. poprawa jakości wody

Z jednej strony proponowane jest zagospodarowanie uciążliwego, słabo degradującego się w środowisku materiału, jakim jest PET, którego ilość w odpadach niepokojąco rośnie. Z drugiej strony proponowane jest wykorzystanie odpadów PET do wytworzenia materiału użytecznego do szeroko pojętej poprawy jakości środowiska.

*dr inż. Bożena Sartowska,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

HIGIENIZACJA OSADÓW ŚCIEKOWYCH ZA POMOCĄ PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO. PRZYKŁADY INSTALACJI DO RADIACYJNEJ OBRÓBKI OSADÓW ŚCIEKOWYCH

Hygienization of sewage sludge using ionizing radiation. Examples of installations for radiation processing of sewage sludges

Marcin Sudlitz

Streszczenie: W ciągle rozwijającym się świecie i co za tym idzie zwiększającej się liczbie ludności problem powstawania ogromnych ilości osadów ściekowych w ciągu roku stanowi coraz poważniejszy problem. Jednym z możliwych sposobów zagospodarowania tych kłopotliwych odpadów jest wykorzystanie rolnicze, jednak przedtem należy pozbyć się patogenów, jakimi są szkodliwe bakterie i jaja pasożytów obecne w ściekach. Nawiezenie pola skażonymi osadami może skończyć się zarażeniami u ludzi i zwierząt spożywających plony wyhodowane na takim polu. Zawartość wybranych patogenów w osadach ściekowych przeznaczonych do zastosowań rolniczych jest uregulowana prawnie. Higienizację osadów ściekowych można przeprowadzić za pomocą promieniowania jonizującego. Na świecie zbudowana została pewna ilość instalacji do napromieniowywania osadów ściekowych, m.in. w Indiach, Niemczech, USA czy Korei Południowej. Możliwe jest wykorzystanie źródeł izotopowych lub też akceleratorów elektronów. Z doświadczeń przeprowadzonych z użyciem takich instalacji, jak również badań laboratoryjnych wynika, że dawka potrzebna do higienizacji zawiera się w przedziale 3-5 kGy.

Abstract:

In a constantly evolving world and, consequently, an increasing population, the problem of the formation of huge amounts of sewage sludge during the year is a growing problem. One of the possible ways to manage this troublesome waste is agricultural use, but before that you must get rid of the pathogens that are harmful bacteria and parasite eggs present in the wastewater. Fertilization of the field with contaminated sediments may end up infecting humans and animals consuming crops grown in such field. The content of selected pathogens in sewage sludge intended for agricultural applications is regulated by law. Hygienization of sewage sludge can be carried out using ionizing radiation. A number of sewage sludge irradiation installations have been built in the world, including in India, Germany, the USA or South Korea. It is possible to use isotope sources or electron accelerators. From experiments carried out with the use of such installations, as well as laboratory tests, it appears that the dose needed for hygienization is in the

Słowa kluczowe: osad ściekowy, higienizacja, promieniowanie jonizujące, patogeny, instalacja.

Keywords: sewage sludge, hygienization, ionizing radiation, pathogens, installation.

W ciągle rozwijającym się świecie następuje rozrost populacji, a także aglomeracji. Zatem ilość wytwarzanych obecnie osadów ściekowych (będących odpadem powstającym przy procesie oczyszczania ścieków, zarówno miejskich, przemysłowych, jak i pochodzących ze wsi) stanowi coraz większy problem. Przykładowo w Polsce w 2016 r. (według GUS-u) uzyskano 947,2 tys. ton suchej masy osadów ściekowych, z czego 568,3 tys. ton suchej masy osadów uzyskanych ze ścieków komunalnych i 378,9 tys. ton suchej masy osadów uzyskanych ze ścieków przemysłowych. Z kolei w 2017 r. ilości te wyniosły odpowiednio: 1035,2, 584,5 oraz 450,7 tys.

ton suchej masy. [1]. Powoduje to konieczność szukania metod redukcji ilości tychże osadów, najlepiej poprzez ich racjonalne wykorzystanie.

Spośród możliwych sposobów zagospodarowywania osadów ściekowych wymienić można: spalanie (w tym współspalanie w piecach do wyrobu cementu, klinkieru etc.) oraz składowanie.

Ostatnia z metod ma poważne ograniczenie ze względu na obowiązujący od 1 stycznia 2016 r. zakaz składowania osadów ściekowych na składowiskach.

Procesy spalania co prawda znacznie zmniejszają objętość odpadów, jednakże nie eliminują problemu składowania odpadów całkowicie, ponadto wytwarzane są w tym procesie zanieczyszczenia chemiczne (dioksyne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne). Spalanie jest także kosztowne ze względu na ilość energii potrzebnej do odparowania wody z osadu. Ze względu na zawartość wielu składników odżywczych, w tym białek, węglowodanów i tłuszczów, także pierwiastków: N, P, K, Mn czy Zn ten kłopotliwy osad może z powodzeniem służyć jako nawóz rolniczy lub też biomasa w procesie fermentacji metanowej. Osady ściekowe można rozróżnić na osad wstępny (zwany też surowym) oraz osad nadmierny. Pierwszy rodzaj powstaje w trakcie zagęszczania ścieków, które trafiają do oczyszczalni bezpośrednio z beczkowsów lub kanalizacji. Drugi rodzaj to efekt procesu oczyszczania za pomocą bakterii tlenowych w tzw. komorach osadu czynnego. Po procesie oczyszczania następuje sedymentacja powstałego osadu nadmiernego. [2] Wywóz osadów ściekowych (czy to w postaci nieprzetworzonej, czy też jako osad nadmierny powstały w oczyszczalni ścieków lub poferment uzyskany z procesu fermentacji metanowej) na pola uprawne niesie za sobą jednak zagrożenia biologiczne ze względu na pochodzenie ścieków. Proces fermentacji tlenowej czy też metanowej (beztlenowej) nie jest w stanie wyeliminować zagrożeń biologicznych.

Zagrożenia biologiczne

Ze względu na pochodzenie osady ściekowe mogą zawierać patogeny odpowiedzialne za wiele chorób.

Oprócz ludzkich odchodów do kanalizacji wędrują również ekskrementy zwierzęce, pochodzące od zwierząt domowych, hodowlanych, jak i bezpańskich. Z tego względu w osadach ściekowych można znaleźć bardzo różnorodne organizmy patogeniczne od bakterii, przez jaja pasożytów po wirusy i grzyby. Mogą to być m.in. bakterie: salmonella, E. Coli, Shigella, Vibrio Cholerae i inne, grzyby: Candida spp., Aspergillus spp., wirusy oraz jaja pasożytów takich jak: włosogłówka (*Trichuris sp.*) – nicien bytujący w ludzkim organizmie, glista ludzka (*Ascaris sp.*) – pasożyt ludzkiego układu pokarmowego, glista psia/kocia (*Toxocara sp.*) – pasożyt jelitowy zwierząt domowych, tasiemiec, tęgoryjec dwunastnicy, owsik. [3] Przykłady pasożytów jelitowych przedstawiono na fot. 1. Ponieważ do ścieków trafiają również ekskrementy ze szpitali mnogość bakterii chorobotwórczych i pasożytów się zwiększa. Patogeny są w stanie przeżywać w ściekach, osadach ściekowych czy glebach dość długi czas i przez cały ten okres być zdolne do zarażania, możliwe jest zarażenie się takimi chorobami jak: wąglik, cholera, zapalenie wątroby, czerwonka czy różne zakażenia pasożytnicze. [2] W tabeli 1 przedstawiono okresy przeżywalności dla wybranych gatunków bakterii i pasożytów.

Najwięcej przypadków zakażeń pasożytniczych odnotowuje się w krajach biednych, głównie w Afryce, czy Azji, gdzie utrudniony dostęp do służby medycznej w połączeniu z dużą gęstością zaludnienia oraz niskim poziomem higieny daje efekty w postaci roznoszenia chorób pasożytniczych. W pracy N.R. de Silva z 2003 r. napisano, że glistą ludzką zarażonych jest około



Fot. 1. Przykłady pasożytów, których jaja występują w osadach ściekowych. Od lewej: Glista ludzka, włosogłówka oraz glista psia (wszystkie zdjęcia pochodzą z: <https://pasozyty.org.pl>)

Photo 1. Examples of parasites, eggs of which are present in sewage sludge. From the left: human roundworm, human whipworm and dogs roundworm (all graphics taken from: <https://pasozyty.org.pl>)

Tabela 1. Przeżywalność wybranych patogenów w różnych środowiskach [2]

Table 1. Survival of selected pathogens in various environments

Patogen	Okres przeżywalności/środowisko
Prątki gruźlicy	5-6 miesięcy/woda rzeczna, ścieki 1 rok/osady ściekowe kompostowane 6 miesięcy/gleba (suche lato)
Salmonella	do 1 roku/ścieki do 1,5 roku/gleba do 1,5 miesiąca/rośliny, warzywa
Laseczki wąglik	powyżej 50 lat/gleba, ścieki, rośliny
Wirusy i enterowirusy	kilka tygodni – kilka miesięcy/ścieki
Jaja glisty ludzkiej	do 6 lat/gleba

1,2 mld ludzi, z czego w samych tylko Chinach połowa tej liczby. [4] Jednakże problem pasożytów dotyczy nie tylko mieszkańców biednych krajów, ale całej populacji światowej. Jeżeli chodzi o obecność jaj pasożytów jelitowych w osadach ściekowych, wcale nie trzeba szukać daleko. Jako przykład mogą posłużyć badania wykonane w Polsce.



Fot. 2. Usunięty chirurgicznie wycinek jelita 3-letniego dziecka z Afryki, w którym doszło do zablokowania glistami. (<https://www.flickr.com/photos/gtzecosan/16424898321/>)

Photo 2. Small intestine fragment removed surgically from 3 year old child from Africa. Huge amount of worms formed obstacle (source: <https://www.flickr.com/photos/gtzecosan/16424898321/>)

J. Zdybel i in. prowadzili badania nad obecnością jaj pasożytów jelitowych: glisty ludzkiej, glisty psiej/kociej, oraz włosogłówki. Wyniki uzyskane z badań próbek pobranych z 17 różnych oczyszczalni z 7 różnych województw wykazały, że występowanie jaj pasożytów jelitowych jest powszechne. Zbadano osady z różnych etapów pracy oczyszczalni ścieków i znaleziono jaja pasożytów w każdym z tych osadów: osad z piaskowników (11% badanych próbek), osad wstępny (76% badanych próbek) oraz nadmierny (44% badanych próbek), ścieki surowe (46% badanych próbek), poferment (pozostałość po fermentacji metanowej, 100% badanych próbek) oraz osad odwodniony (82% badanych próbek). [5] Z innych badań J. Zdybel i in. próbek pobranych z różnych wielkości oczyszczalni ścieków wynikało, że jaja glisty ludzkiej wykryto w 96% badanych próbek, jaja glisty psiej wykryto w 95% badanych próbek, a jaja włosogłówki w 60% badanych osadów. [6] W związku z poważnym zagrożeniem, jakim jest możliwość zarażenia się pasożytami oraz bakteriami chorobotwórczymi, oraz fakt, że jaja pasożytów oraz bakterie są w stanie zarażać jeszcze długo po wprowadzeniu do gleby, niezwykle ważne jest pozbycie się patogenów z osadów ściekowych przed zastosowaniem ich jako nawóz rolniczy.

Prawo dotyczące obecności bakterii oraz jaj pasożytów w osadach ściekowych

Ilości bakterii patogenicznych oraz jaj pasożytów w osadach ściekowych, które mają być wykorzystane

jako nawóz rolniczy, jest regulowana prawnie. Na terenie Unii Europejskiej każde z państw członkowskich posiada własne przepisy na temat dopuszczalnej zawartości patogenów w osadach ściekowych przeznaczonych do zastosowań rolniczych. W przypadku Polski dokumentem, gdzie zawarte są wytyczne w tej kwestii, jest rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych [7], a organizmy, które wskazuje ta ustawa to: bakterie rodzaju salmonella oraz pasożyty: włosogłówka, glista ludzka oraz glista kocia/psia. Ustawa ta stwierdza, że: łączna liczba żywych jaj pasożytów jelitowych *Ascaris sp.*, *Trichuris sp.*, *Toxocara sp.* w 1 kg suchej masy osadów stosowanych jako nawóz rolniczy w rolnictwie – musi wynosić 0, gdy stosuje się osady ściekowe do rekultywacji terenów, liczba ta nie może być większa niż 300. Podobnie, jeżeli osadów używa się do dostosowania gruntów do określonych potrzeb wynikających z planów gospodarki odpadami, planów zagospodarowania przestrzennego lub decyzji o warunkach zabudowy i zagospodarowania terenu, do uprawy roślin przeznaczonych do produkcji kompostu oraz do uprawy roślin nieprzeznaczonych do spożycia i do produkcji pasz, to łączna liczba żywych jaj pasożytów nie może przekraczać 300. Ustawa stwierdza także, że w przypadku stosowania osadów ściekowych w rolnictwie i do rekultywacji gruntów na cele rolne w 100g osadów wyizolowanych do badań nie mogą znajdować się bakterie z rodzaju salmonella.

Oddziaływanie promieniowania jonizującego na żywe organizmy

Destrukcyjny wpływ promieniowania jonizującego dla życia znany jest od dawna. Sterylizacja radiacyjna produktów medycznych, żywności czy też zapobieganie biodeterioracji zbiorów muzealnych za pomocą napromieniowania to dość często stosowane techniki. Za niszczycielski wpływ napromieniowania na żywe komórki odpowiadają zarówno oddziaływanie bezpośrednie kwantów promieniowania, jak i pośrednie. Działanie bezpośrednie polega na depozycji energii elektronu, cząstki alfa lub kwantu gamma bezpośrednio na nić DNA powodując jej uszkodzenia. Pęknięcie nici może być pojedyncze dla promieniowania o niskim LET (Linear Energy Transfer), takim jak promieniowanie elektronowe czy gamma lub podwójne dla promieniowania o wysokim LET (takiego jak promieniowanie alfa). Mechanizm pośredni polega na reakcji DNA z produktami radiolizy wody występującej wewnątrz komórek organizmów żywych. Wytworzone w wyniku oddziaływania promieniowania jonizującego: rodniki OH, solwatowane elektrony, rodniki wodorowe wchodzi w reakcje z cząsteczkami w nici DNA. Szczególnie istotne są rodniki OH, te odpowiadają za 90% wszystkich uszkodzeń. Szacuje się, że napromieniowanie komórki dawką 1 Gy powoduje 1000 pojedynczych pęknięć nici, 40 podwójnych pęknięć nici, 150 reakcji pomiędzy

nią DNA a białkami prowadzące do usieciowania DNA oraz 250 reakcji utlenienia tyminy. [8]

Prowadzono również wiele badań nad skutecznością promieniowania jonizującego w eliminowaniu patogenów w ściekach. Jako przykład może posłużyć praca A. Chmielewskiego i in. [9] gdzie przeprowadzono badania osadów ściekowych napromieniowanych za pomocą akceleratora elektronów o energii 10 MeV. Badania wykazały, że do zabicia jaj pasożytów potrzebna jest dawka 6 kGy, natomiast napromieniowanie dawką 5 kGy powoduje zmniejszenie ilości bakterii w osadzie o 2 rzędy wielkości, a napromieniowanie dawką 7 kGy o 4 rzędy. T.T. Naing i K.K. Lay [10] w swojej pracy z kolei stwierdzili, że dawka 7 kGy całkowicie eliminuje bakterie z osadu ściekowego. Z badań R. El-Motaium i in. [11] wynika, że dawka 6 kGy eliminuje bakterie z osadu, natomiast do zabicia bakterii w surowych ściekach wystarczy 1,5 kGy. Według autorów wyższa dawka potrzebna do higienizacji osadów względem ścieków surowych wynika z faktu, że bakterie mają tendencję do osiadania wraz z cząstkami stałymi w ściekach, co zwiększa ich ilość w osadzie.

Instalacje do napromieniowywania osadów ściekowych

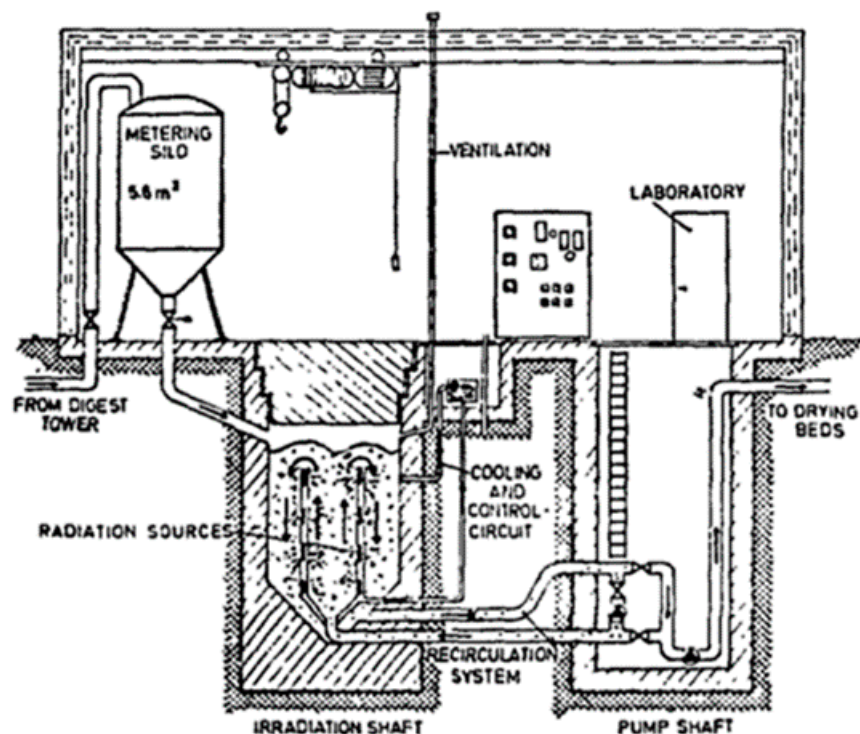
Powstało wiele instalacji (głównie badawczych) do napromieniowywania osadów ściekowych. Instalacje takie mogą wykorzystywać zarówno źródła izotopowe, jak i akceleratory elektronów.

Instalacje wykorzystujące źródła izotopowe gamma

Jednym z przykładów instalacji wykorzystującej źródła gamma może być stworzona w 1973 r. badawczo-demonstracyjna instalacja do napromieniowywania osadów ściekowych z wykorzystaniem źródeł izotopowych. W pierwszym okresie pracy instalacja wyposażona została w źródło o aktywności 110 000 Ci i możliwe było napromieniowanie 30 m³ osadów ściekowych w ciągu doby. W roku 1975 aktywność źródła zwiększono do 450 000 Ci (w instalacji wykorzystywano źródła ⁶⁰Co i ¹³⁷Cs) co pozwoliło na zwiększenie wydajności do 120 m³ na dobę. W jednym cyklu napromieniowywane było 5,6 m³ osadów dawką 3 kGy.

Cała instalacja umieszczona została na dwóch poziomach: na pierwszym umieszczono silos o pojemności 5,6 m³ na osad ściekowy, dźwig, sterownię oraz małe laboratorium. Na dolnej kondygnacji znajdowały się grubościenna komora zawierająca źródła izotopowe oraz, w oddzielnym pomieszczeniu, zespół pomp, zaworów i aparatura sterująca. Umieszczenie tych elementów w oddzielnym pomieszczeniu pozwalało na łatwiejszą i bezpieczniejszą konserwację, bez narażania obsługi na promieniowanie.

W środku komory do napromieniowywania znajdowała się rura o podwójnych ściankach. Pomiędzy ściankami zewnętrznymi i wewnętrznymi umiejscowione



Rys. 1. Schemat instalacji do napromieniowywania osadów ściekowych w Geiselbullach, w Niemczech [12]
Fig. 1. Scheme of installation for sewage sludge irradiation in Geiselbullach, Germany

były źródła promieniowania. Po włączeniu pomp osad przepływał od dołu przez centralną część rury, po czym przelewał się przez górną krawędź tejże rury, spływając na dno komory, a stamtąd szedł z powrotem do pompy. Osad cyrkulował do osiągnięcia żądanej dawki, żeby po napromieniowaniu trafił na zewnątrz instalacji. Same źródła chłodzone były wodą demineralizowaną. Instalacja ta była zautomatyzowana i działała 24 h na dobę. W roku 1993 instalację zlikwidowano. [12]

Innym przykładem może być zastosowana w 1992 r. w miejscowości Vadodara w Indiach komora do napromieniowywania wykorzystująca źródła ^{60}Co . Komora ta jest zaprojektowana do współpracy z istniejącą instalacją. Cały zespół ma wydajność 110 m^3 na dobę. Sama komora zawiera wewnątrz szereg rur z umieszczonymi wewnątrz źródłami promieniotwórczymi. Pompowany do wnętrza osad opływa te rury i ulega napromieniowaniu, podobnie, jak w poprzednim przypadku, osad recyrkuluje aż do osiągnięcia żądanej dawki. [13]

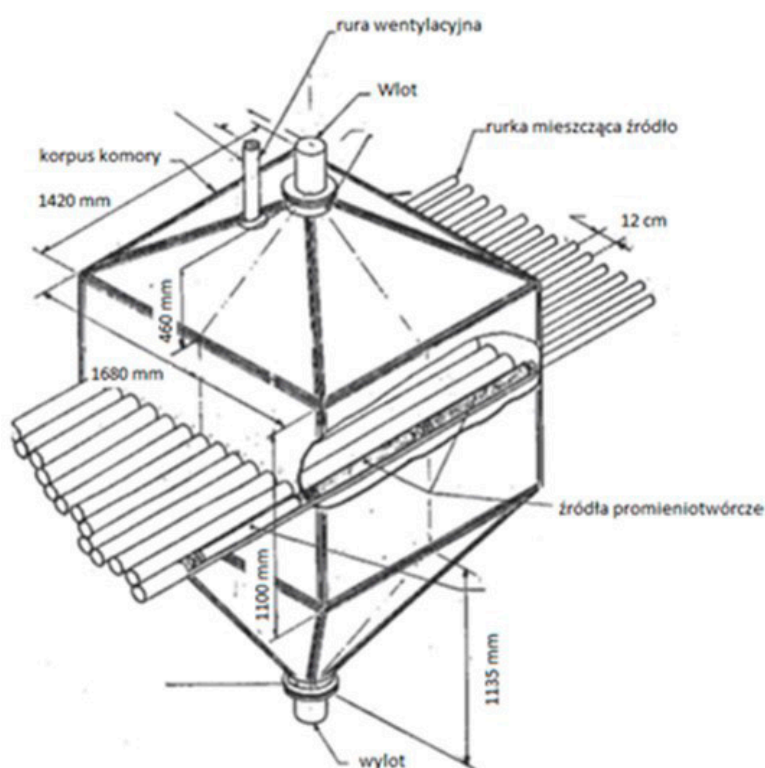
W Argentynie, w Tucuman, powstała instalacja PIBA, podobna do instalacji w Geiselbullah, wykorzystująca źródła ^{60}Co . Służyła ona do napromieniowywania pofermentu pochodzącego z procesu fermentacji metanowej osadów ściekowych o ilości suchej masy wynoszącej 8-10% dawką 3 kGy z wydajnością wynoszącą 180 m^3 na dobę. W jednym cyklu napromieniować można było 6 m^3 pofermentu. [14]

W Indiach w miejscowości Baroda w 1990 r. wybudowano instalację SHRI (Sludge Hygienization Research Irradiator) współpracującą z istniejącą tam oczyszczalnią ścieków. Służyła ona do napromieniowywania pofermentu z procesu fermentacji metanowej dawką 4 kGy z wydajnością 110 m^3 na dobę, w jednym cyklu napromieniować można było 3 m^3 . Instalacja posiada dwie niezależne, wykonane ze stali nierdzewnej, komory do napromieniowywania osadów ściekowych. Gdy jedna z nich jest w użyciu, druga czeka w stanie gotowości. Osad po wejściu do komory opada pionowo i przechodzi przez sieć rurek z umieszczonymi wewnątrz źródłami promieniotwórczymi, ulegając napromieniowaniu. Z badań nad tym układem wynika, że do higienizacji ścieków surowych wystarcza dawka 1,5 kGy, podczas gdy do higienizacji osadów ściekowych oraz pofermentu potrzeba 3 kGy. [14]

Instalacje wykorzystujące akceleratory elektronów

Oprócz instalacji wykorzystujących źródła izotopowe istnieją także takie, które posiadają akceleratory elektronów. Akceleratory ze względu na możliwość wyłączenia są bezpieczniejsze i wygodniejsze w obsłudze i konserwacji, wady natomiast stanowią niewielką głębokość penetracji wiązki, wymuszając zmniejszanie warstwy napromieniowywanego osadu oraz duże zużycie energii.

Jako przykład można wymienić wybudowaną w 1976 r. w USA w Bostonie instalację Deer Island Elec-



Rys. 2. Schemat komory do napromieniowywania osadów ściekowych zastosowanej w oczyszczalni ścieków w miejscowości Vadodara, w Indiach [13]
Fig. 2. Scheme of sewage sludge irradiation chamber used in Wastewater treatment plant in Vadodara, India [13]

tron Research Facility o wydajności 655 m³ na dobę. Umieszczony poziomo akcelerator o energii wiązki 1,5 MeV napromieniowywał osad w postaci wypływającej pionowo w dół z dyszy warstwy o grubości 4 mm dawką 5 kGy. [14, 15]

W Japonii, w Takasaki przy pomocy instalacji pracującej z wydajnością 300 kg/h napromieniowywano osad w postaci warstwy o grubości 10 mm umieszczonej na podajniku, która transportowana była pod akcelerator, a następnie odprowadzana na zewnątrz. Napromieniowany osad kompostowano. [13]

Także w Korei Południowej powstała instalacja piotowa w 2005 r. W tym wypadku z osadu formowana była warstwa o grubości 6 mm, która trafiała na podajnik ze stali nierdzewnej. Ten przenosił ją pod akcelerator o mocy 100 kW i energii wiązki 2,5 MeV, gdzie napromieniowywana była dawką 1-3 kGy. Wydajność tej instalacji to do 500 kg/h. Z badań wynikało, że dawka 3 kGy wystarczała do całkowitego wyeliminowania bakterii z rodzaju salmonella, a także spadek ilości bakterii z rodzaju coli o 3-4 rzędy wielkości. [16]

Pomimo tego, że niektóre z powstałych instalacji do napromieniowywania osadów ściekowych zakończyły już swoją działalność, idea radiacyjnej higienizacji takich osadów wcale nie umarła. Przykładem może być opracowywana w IChTJ we współpracy z lubelską firmą Biopolinex oraz oczyszczalnią ścieków Gea-Nova w Józefowie „zero -energetyczna” technologia, gdzie biogaz wyprodukowany na drodze fermentacji osadów ściekowych byłby spożytkowany na wyprodukowanie energii elektrycznej mogącej zasilać akcelerator elektronów służący do higienizacji pofermentu, aby można go było bezpiecznie wykorzystywać jako nawóz rolniczy.

*Marcin Sudlitz,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

Literatura:

- [1] Główny Urząd Statystyczny. (2018). Ochrona środowiska 2018. Informacje i opracowanie statystyczne. Warszawa, Pobrano dnia 28.02.2020 z <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/srodowisko-energia/srodowisko/ochrona-srodowiska-2018,1,19.html>
- [2] Dymaczewski, Z., Oleszkiewicz, J.A., & Sozański, M.M. (1997). Poradnik eksploatatora oczyszczalni ścieków. Poznań: Polskie Zrzeszenie Inżynierów i Techników Sanitarnych.
- [3] Strauch D.: Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excreta, manure and sewage sludge. Part I. Med Weter 1993, 49, 59–65.
- [4] de Silva NR, Brooker S, Hotez PJ, Montresor A, Engels D, Savioli L. Soil-transmitted helminth infections: updating the global picture. Trends Parasitol. 2003, 19(12), 547–551
- [5] Zdybel J., Cencek T., Karamon J., Kłapeć T., Effectiveness of selected stages of wastewater treatment in elimination of eggs of intestinal parasites, Bull Vet Inst. Puławy 59, 51-57, 2015
- [6] Zdybel J., Karamon J., Dąbrowska J., Różycki M., Bilka – Zajac E., Kłapeć T., Cencek T., Parasitological contamination with eggs *Ascaris* spp., *Trichuris* spp. and *Toxocara* spp. of dehydrated municipal sewage sludge in Poland, Env. Pol., 248 (2019), 621 - 626
- [7] Minister Środowiska. (2010). Rozporządzenie ministra środowiska z dnia 13 lipca 2010 r. w sprawie komunalnych osadów ściekowych. Dz.U. 2010 nr 137 poz. 924.
- [8] Krajewski P., (2009) Biologiczne skutki promieniowania jonizującego, Materiał dydaktyczny dla Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej w ramach bloku wykładów pt.: „Podstawy Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej”. Pobrano 23 listo-pada 2018 r. http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/POKL33/pdf/mat-wykl/Biologiczne_skutki_promieniowania_jonizujacego.pdf
- [9] Chmielewski, A.G., Zimek, Z., Bryl-Sandelewska, T., Kosmal, W., Kalisza, L., & Kaźmierczuk, M. (1995). Disinfection of municipal sewage sludges in installation equipped with electron accelerator. Radiation Physics and Chemistry, 46, 1071-1074.
- [10] Naing, T.T., & Lay K.K. (2015). Utilization of gamma radiation in industrial wastewater treatment. International Journal of Mechanical and Production Engineering, 3, 6, 1-5.
- [11] El-Motaium, R., Ezzat, H.E.M., Et-Batanony, M., Kreuzig, R., & Abo-El-Seoud, M. (2002). Irradiated sewage sludge for increased crop production – I. Pathogens and polycyclic aromatic hydrocarbons. Vienna: International Atomic Energy Agency. IAEA-TECDOC-CD--1317. Pobrano 30 października 2019 r. z https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:34010893.
- [12] Lessel, T., & Hennig, E. (1976). The pilot plant in Geiselbulach for the gamma irradiation, operation, experience and cost calculations. W Meeting of the European Society of Nuclear Methods in Agriculture, 8 June 1976, Muenchen, Germany (s. 165-182). Pobrano 30 października 2019 r. z https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/08/330/8330700.pdf.
- [13] Haji-Saeid M., Sabharwal S., Chmielewski A.G. (2007), Radiation processing: environmental applications. Vienna: International Atomic Energy Agency.
- [14] Lavahole D.S., Shah M.R., Rawat K.P., George J.R., Sewage sludge irradiators. Batch and continuous flow, Mumbai, India, 1998, pobrano 26.02.2020 z <https://www.osti.gov/etdweb/servlets/purl/644028>
- [15] Janlong, W., Jazhuo, W., Application of radiation technology to sewage sludge processing: a review. Journal of Hazardous Materials, 2007, 143, 2-7
- [16] Kim, Y., Han, B., Kim, J.K., Ben Yaacov, N., & Jeong, K.Y. Design of electron beam sludge hygienization plant. International Topical Meeting on Nuclear Research Applications and Utilization of Accelerators, 4-8 May 2009, Vienna (SM/EB-25). Pobrano 30 października 2019 r. z <https://pdfs.semanticscholar.org/81ff/f088f4e2fba265d8faa685f83b47c53a800.pdf>.



MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA: ENERGIA JĄDROWA: WYZWANIA I PERSPEKTYWY

International Scientific and Technical
Conference

Nuclear Energy: Challenges and Prospects

Sochi, Russia, September 30 – October 3,
2020

W dniach od 30 września do 3 października 2020 r. w Soczi odbędzie się międzynarodowa konferencja poświęcona energetyce jądrowej (International Scientific and Technical Conference, "Nuclear Energy: Challenges and Prospects"). Konferencja odbędzie się w 75. rocznicę rosyjskiego przemysłu jądrowego przy wsparciu MAEA, OECD, WNA. Celami spotkania jest wymiana doświadczeń, wiedzy naukowej i technicznej oraz przedyskutowanie kwestii nowych technologii, które będą miały wpływ na zrównoważony rozwój energetyki jądrowej w poszczególnych krajach i na całym świecie. Podczas sesji naukowych komunikaty będą prezentowane w kilku ścieżkach tematycznych: reaktory generacji 3+ i 4; przetwarzanie zużytego paliwa jądrowego i recykling materiałów jądrowych; bezpieczne zarządzanie odpadami radioaktywnymi; dostawa paliwa jądrowego; nieenergetyczne zastosowania technik nuklearnych; przyszłość SMR, zastosowanie wodoru w energetyce itp. Dyskusje nie ograniczą się do nowości naukowych, ale poruszać będą kwestie bezpieczeństwa, akceptacji społecznej, wydajności i innowacyjności. A zatem, konferencja może zainteresować zarówno środowisko naukowe jak i przedstawiciele organów państwowych oraz regulacyjnych, organizacji pozarządowych, podmiotów gospodarczych itd. Szczególną uwagę podczas konferencji planuje się poświęcić młodemu pokoleniu naukowców zajmujących się energią jądrową, ponieważ to oni będą musieli kontynuować badania naukowe i wprowadzić je w postaci zaawansowanych technologii w XXI wieku. Młodzi naukowcy będą mieli okazję zaprezentować wyniki swoich badań na sesji plakatowej i skonfrontować je z wiedzą wybitnych naukowców i specjalistów z całego świata. Więcej szczegółów na stronie internetowej: www.nsconf2020.ru.

Wojciech Jerzy Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



CO PRZYNIESIE NAM NOWA PERSPEKTYWA FINANSOWA 2021-2027?

Wiemy już, że nowy europejski program na rzecz badań i innowacji będzie nosił nazwę Horyzont Europa i będzie programem o największym, jak do tej pory, budżecie. Planowany budżet programu to obecnie 100 mld euro. Jego głównym celem będzie wzmocnienie wpływu badań i innowacji na rozwój polityk UE, wsparcie wdrażania innowacji przez europejski przemysł, w tym MŚP i sprostanie globalnym wyzwaniom, w tym zmianom klimatu i celom zrównoważonego rozwoju wyznaczonym przez ONZ.

Komisja Europejska uruchomiła stronę internetową poświęconą programowi Horyzont Europa. Najnowsze informacje o programie można znaleźć pod poniższym linkiem: https://ec.europa.eu/info/horizon-europe-next-research-and-innovation-framework-programme_en

Ogólnie rzecz biorąc, nowy program będzie bazował na osiągnięciach obecnego programu w zakresie badań naukowych i innowacji („Horyzont 2020”). Pojawia się też nowe elementy, takie jak misje czy zreformowane partnerstwa europejskie. Zadaniem misji będzie rozwiązywanie złożonych problemów, które mają wpływ na nasze życie codzienne. Komisja utworzyła 5 misji dla kluczowych wyzwań, takich jak: nowotwory, zmiany klimatu, zdrowe oceany, miasta neutralne dla klimatu oraz zdrowa gleba i żywność.

Więcej na temat misji: https://ec.europa.eu/info/files/members-mission-boards_en

Ich realizacją będą zajmować się, m.in. partnerstwa europejskie, które skupiają przedstawicieli przemysłu, instytucji unijnych, państw członkowskich i krajowych placówek publicznych. Za cel stawiają sobie łączenie rozproszonych zasobów i radzenie sobie z trudnościami wynikającym głównie z braku specjalizacji w sektorach wysokich technologii. Komisja Europejska proponuje w nowym programie reorganizację partnerstw.

Również w **Programie Euratom** (2021-2025) pojawią się nowości takie jak koncentracja działań na niezwiązanych z wytwarzaniem energii zastosowaniach promieniowania, np. w przemyśle, medycynie, rolnictwie czy możliwość startowania przez naukowców, z dziedziny chemii i fizyki jądrowej, w działaniach Marii Skłodowskiej-Curie.

Wszystkich zainteresowanych uzyskaniem szczegółowych informacji zapraszamy do kontaktu z naszymi ekspertami Euratom_Fission@kpk.gov.pl oraz na naszą stronę [www: www.kpk.gov.pl](http://www.kpk.gov.pl)

Aneta Maszewska,
Krajowy Punkt Kontaktowy
Programów Badawczych UE,
Warszawa



KRAJOWE WARSZTATY NA TEMAT PROJEKTU SYSTEMU MONITOROWANIA OCHRONY PRZED PROMIENIOWANIEM DLA ELEKTROWNI JĄDROWEJ

W dniach 14-18 października 2019 r. w Warszawie odbyły się warsztaty pt. „National workshop on the design aspect of radiation protection monitoring system for a nuclear power plant” dotyczące ochrony radiologicznej oraz monitoringu radiacyjnego dla elektrowni jądrowej. Organizatorami warsztatów była Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej oraz PGE EJ 1 sp. z o.o. Wśród prelegentów było trzech ekspertów MAEA: p. Pascal DEBOODT (lider ekspertów), p. Jens-Uwe SCHMOLLACK oraz p. Andor MARUSA. Oprócz ekspertów MAEA prezentacje wygłosili: Krzysztof Fornalski (PGE EJ 1), Jakub Ośko (NCBJ), Mariusz Jazgarski (PAA), Kamil Adamczyk (DEJ ME) oraz Paweł Lipiński (CLOR). W warsztatach wzięło udział około 25 osób z następujących instytucji: PGE EJ 1 sp. z o.o., DEJ ME, CLOR, NCBJ, PAA oraz ZUOP.

Pierwszego dnia warsztatów zaprezentowano wytyczne MAEA na temat monitoringu radiacyjnego wokół elektrowni jądrowej, jak też podstawowe informacje dotyczące implementacji zasady optymalizacji (ALARA). Podano też przykładowe działania na terenie i wokół EJ w przedmiotowym zakresie. Dodatkowo przedstawiciele polskich instytucji przedstawili prezentacje na temat działalności swoich jednostek w kontekście monitoringu radiacyjnego.

Drugiego dnia warsztatów przedstawiono zalecenia dotyczące zakresu, sprzętu i technik używanych dla monitoringu radiacyjnego, zarówno na terenie jak i poza terenem EJ. Omówiono również podział terenu EJ na obszary pod kątem wymagań ochrony radiologicznej (tereny nadzorowane i kontrolowane) i związane z nimi praktyczne działania.

Trzeciego dnia prelegenci skupili się na pozostałych aspektach systemu zakładowego monitoringu radiacyjnego (on-site i off-site), w tym służby dozymetrycznej, poborów próbek oraz wyposażenia laboratoryjnego. Dodatkowo omówiono środki ochrony indywidualnej, sposoby i praktyki dekontaminacji osób i sprzętu, a także kwestie kadrowe i szkoleniowe pracowników zajmujących się tymi zagadnieniami.

Czwartego dnia kontynuowano najważniejsze tematy z poprzednich trzech dni, tj. omówiono stacje

monitoringu w okolicy EJ, zadania ERC (Emergency Response Center) oraz władz lokalnych i państwowych w zakresie prowadzenia działań interwencyjnych. W bardzo interesującej ostatniej prezentacji przedstawiono praktyczne przykłady implementacji i stosowania zasady optymalizacji (tj. zasady ALARA).

Ostatniego, piątego dnia warsztatów, omówiono proces decommissioningu belgijskiego reaktora BR3, po czym miała miejsce dyskusja panelowa.

*Krzysztof W. Fornalski,
Biuro Bezpieczeństwa Jądrowego
i Ochrony Radiologicznej,
PGE EJ 1 sp. z o.o.*



PAŃSTWO 2.0.

W Warszawie odbyła się X edycja organizowanej przez Computerworld konferencji Państwo 2.0. Podobnie jak w poprzednich latach, tematyka spotkania skierowana była do przedstawicieli centralnej i wojewódzkiej administracji rządowej, osób odpowiedzialnych za strategiczne decyzje w sferze życia publicznego i zarządzania rozwojem społeczności lokalnych, dyrektorów IT oraz innych osób odpowiedzialnych za wsparcie teleinformatyczne procesów w urzędach. Pierwszy dzień poświęcono cyfrowym priorytetom administracji centralnej na najbliższe lata oraz statusowi prac nad najważniejszymi rządowymi projektami IT. Agenda drugiego dnia skoncentrowała się na zagadnieniach technologicznych, których znaczenie dla rozwoju cyfrowego państwa w ostatnich latach znacząco wzrosło. Mowa m.in. o bezpieczeństwie systemów IT wykorzystywanych do realizacji zadań publicznych i zmianach w związku z ustawą o Krajowym Systemie Cyberbezpieczeństwa. Omówiono także priorytety inwestycyjne polskiego sektora ochrony zdrowia, strategię rozwoju polskich miast oraz technologie



Fot. 1. Uczestnicy panelu poświęconego zdrowiu dyskutowali na tematy: e-recepty, e-skierowania, Internetowego Konta Pacjenta (fot. Wojciech Głuszewski)

ICT w infrastrukturze transportowej. Poproszono decydentów, by opowiedzieli na temat strategii i planów rozwoju sektorów o szczególnym społecznym znaczeniu: Energetyki, Przemysłu Obronnego i Zdrowia. Zastanawiano się, jaką rolę w tych resortach mogą odegrać nowe technologie i które z nich będą miały szczególne znaczenie.

Przykładowo w zeszłym roku Krajowa Administracja Skarbowa (KAS) nawiązała współpracę z polskim start-upem Tensorflight Poland, który stworzył nowe narzędzie do analizy zdjęć RTG wykonywanych przy kontrolach przewozu towarów. Firma wygrała konkurs Ministerstwa Finansów i KAS, realizowany w ramach Programu GOVTech Polska. Służba Celno-Skarbowa powstrzymuje każdego roku tysiące prób przemytu papierosów, alkoholu, narkotyków, broni, materiałów wybuchowych oraz wielu innych nielegalnych towarów. Wśród uratowanych często są ludzie – ofiary porwań i handlu żywym towarem, a także zagrożone gatunki zwierząt. Jedną z metod ochrony przed napływem takich towarów są skanery RTG, które pozwalają dostrzec zawartość kontenerów, a także paczek trafiających do kontroli. Jednym z celów, jaki sobie postawiono, było wykorzystanie sztucznej inteligencji do zwiększenia skuteczności kontroli, a tym samym uszczelnienie granic UE. Efektem rozpisania konkursu jest system automatycznej identyfikacji przedmiotów i ich zbiorów na zdjęciach rentgenowskich. Pozwala to usprawnić pracę funkcjonariuszy KAS. Powstała również ogólnopolska platforma szkoleniowa do e-learningu, która ma za zadanie podnieść wiedzę w zakresie wykorzystania urządzeń RTG do prześwietlania (w zasadzie napromieniowywania) towarów i środków transportu oraz interpretacji otrzymanych obrazów. Innym zadaniem jest podniesienie kompetencji osób obsługujących wielkogabarytowe urządzenia RTG z zakresu obsługi technicznej ww. urządzeń (utrzymywanie ich w dobrym stanie technicznym, szybsza lokalizacja ewentualnych usterek). Zwrócono również uwagę na bezpieczeństwo radiologiczne osób obsługujących urządzenia RTG oraz użytkowników skanowanych środków transportu. Platforma szkoleniowa w postaci aplikacji sieciowej (webowej – ang. web application) umożliwia dostęp osobom zainteresowanym za pośrednictwem przeglądarki internetowej. System na bieżąco monitoruje poziom wiedzy kursantów i dopasowuje do niego zakres szkoleń. Platforma uwzględnia również profil użytkownika (typ przejścia granicznego oraz rodzaj urządzenia, na którym wykonuje się kontrolę). W efekcie powstały cztery moduły szkoleniowe: obsługi akceleratora, ochrony radiologicznej, wsparcia technicznego, interpretacji obrazów (program symulujący środowisko do analizy obrazów).

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



WARSZAWA STOLICĄ ŚWIATOWEJ PIANISTYKI

W dniach od 2 do 23 października 2021 r. odbędzie się w Warszawie kolejny XVIII Międzynarodowy Konkurs Pianistyczny im. Fryderyka Chopina. Wyniki kwalifikacji do eliminacji zostały ogłoszone na konferencji prasowej 9 marca br. W ślad za decyzją sztabu kryzysowego z udziałem ministra kultury i dziedzictwa narodowego o czasowym zamknięciu instytucji kultury Narodowy Instytut Fryderyka Chopina, będący organizatorem Konkursu Chopinowskiego, podjął decyzję o przeniesieniu eliminacji na 2021 r. O zmianie terminu konkursu zaważyły dwa główne czynniki – wysokie prawdopodobieństwo, że w październiku 2020 r. konkurs nie będzie mógł odbywać się z udziałem publiczności oraz trudna sytuacja wielu pianistów zakwalifikowanych do eliminacji konkursowych, którzy nie mają stosownych warunków do przygotowania się do konkursu (m.in. ograniczony dostęp do instrumentów najwyższej klasy, brak bezpośredniego kontaktu z profesorami). Zmagania pianistów można będzie śledzić na kanale YouTube Instytutu Chopina oraz na portalu Facebook. Po raz pierwszy transmisje będą dostępne, w jakości 4K oraz w technologii rzeczywistości wirtualnej (VR). Transmisje VR będą realizowane ze sceny, z perspektywy obejmującej pianistę oraz widownię. Można liczyć, że konkurs Chopinowski zachęci gości z zagranicy w szczególności z Japonii i Chin do uczestniczenia w wydarzeniach naukowych organizowanych w Warszawie. W ostatnich dniach został przesunięty termin konkursu Chopinowskiego. Szkoda, bo atmosferę światowej stolicy pianistyki mogliby poczuć między innymi uczestnicy konferencji NUTECH 2020.

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



IMPULS ENERGII DLA POLSKI

11 maja br. ukazała się publikacja zatytułowana „Impuls energii dla Polski”, której celem jest zmobilizowanie dostępnych środków publicznych i prywatnych na energetyczną modernizację kraju. Zawiera ona pakiet rozwiązań dla gospodarki, którego autorami są Forum Energii i Konfederacja Lewiatan. Autorki i autorzy przekonują, że inwestycje w sektorze energii powinny być elementem strategii wychodzenia z kryzysu spowodowanego pandemią koronawirusa. Zależy im jak piszą, aby Polska zrobiła wreszcie krok w przyszłość, jeżeli chodzi o czyste ciepło, prąd i transport, a czysta energia stała się silnikiem gospodarki po kryzysie. Zakłada się, że realizacja tego projektu pobudzi inwestycje o łącznej wartości ponad

580 mld zł, co przełoży się na powstanie 240 tys. nowych miejsc pracy. „Impuls energii” odnosi się do jednego z większych wyzwań naszych czasów – ochrony klimatu i czystego powietrza. W opracowaniu nie ma niestety ani słowa o energetyce jądrowej. Autorzy piszą o inwestycjach w OZE, efektywności energetycznej, nowoczesnej gospodarce odpadami, nowoczesnym transporcie, a także o szansach na rozwój naszej konkurencyjności w dziedzinach, w których globalne karty nie są jeszcze do końca rozdane. Zapraszamy jednocześnie czytelników do dyskusji i zgłaszania innych propozycji. Pełna treść pakietu jest do pobrania w następującym linku: <https://forum-energii.eu/pl/analizy/impuls-energii>

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



ODNOWIENIE PO 50. LATACH DOKTORATU PROF. ANDRZEJA SZYTUŁY

W dniu 3 marca 2020 r. w Auli Collegium Novum Uniwersytetu Jagiellońskiego odbyło się uroczyste posiedzenie Rady Wydziału Fizyki, Astronomii i Informatyki



Fot. 1. Laudacja czyta prof. R. Abdank Kozubski

Stosowanej UJ zwołane z okazji odnowienia po 50. latach doktoratu prof. Andrzeja Szytuły.

Uroczystości przewodniczyła p. Dziekan Wydziału prof. Ewa Gudowska – Nowak. Rozpoczęła od powitania obecnych: Prorektora uczelni prof. Armena Edigariana, Członków Rady Wydziału, Jubilata oraz jego rodziny, współpracowników, uczniów i przyjaciół. Zwykle podobne uroczystości odbywają się w Collegium Maius, ale tym razem ze względu na imponującą liczbę gości urządzono ją w Collegium Novum. Jako pierwszy zabrał głos Prorektor Uniwersytetu prof. Armen Edigarian. Przywitał zebranych i wyraził zadowolenie z możliwości uczest-

niczenia w tym ważnym dla społeczności akademickiej wydarzeniu.

Sylwetkę prof. Andrzeja Szytuły i jego dorobek naukowy nakreślił laudator prof. Rafał Abdank Kozubski. Liczba opublikowanych prac naukowych Profesora jest olbrzymia, a przeglądowe monografie w renomowanych wydawnictwach stanowią znaczące dopełnienie tego dorobku. Ale przede wszystkim bardzo szeroka współpraca Profesora z licznymi ośrodkami w Polsce i zagranicą, organizacja seminariów, promowanie doktoratów i prac magisterskich, recenzowanie przewodów habilitacyjnych oraz publikacji uzasadniały tak liczną obecność jego beneficjentów na uroczystości.

Piękne czytanie treści dyplomu w języku łacińskim w wykonaniu p. Dziekan prof. Ewy Gudowskiej – Nowak dodało splendoru wydarzeniu. Kulminacyjnym punktem uroczystości było wręczenie dyplomu i kwiatów dostojnemu Jubilatowi oraz gratulacje od Prorektora Uniwersytetu prof. Armena Edigariana i członków Rady Wydziału.

W odpowiedzi prof. Andrzej Szytuła opowiedział zebranych o swojej pracy naukowej od czasu studiów poprzez długie lata zatrudnienia na coraz wyższych stanowiskach w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego Instytutu Fizyki UJ. Mówił o kolejnych tematach swoich zainteresowań badawczych oraz o ludziach, którzy odegrali ważną rolę w ich rozwijaniu. Dziękował swoim mistrzom i opie-



Fot. 2. Wystąpienie Prorektora Uniwersytetu Jagiellońskiego prof. Armen Edigarian



Fot. 3. Odczytanie dyplomu w wykonaniu p. Dziekan prof. Ewy Gudowskiej – Nowak (fot. Krzysztof Magda)

kunom, zarówno żyjącym, jak i tym, którzy już odeszli. Wdzięczność i szacunek dla nich świadczy o wielkim sercu Profesora oraz o jego skromności wobec własnych dokonań.



Fot. 4. Uczestnicy uroczystości odnowienia po 50. latach doktoratu prof. Andrzeja Szytuły w Auli Collegium Maius UJ



Fot. 5. Prof. Andrzej Szytuła z rodziną



Fot. 6. Po środku: Prof. Andrzej Szytuła ze współpracownikami i przyjaciółmi (fot. Krzysztof Magda)

Kuluarową część uroczystości rozpoczęła p. Dziekan prof. Ewa Gudowska – Nowak czytając okolicznościowe adresy, jakie nadeszły na jej ręce do prof. Szytuły. Kolejno wystąpili: prof. Piotr Zieliński z trzema adresami od dyrekcji Instytutu Fizyki Jądrowej PAN, od III-go Oddziału Fizyki Materii Skondensowanej IFJ PAN, oraz Instytutu Fizyki Politechniki Krakowskiej, p. prof. Krystyna Derek z Wydziału Chemii UJ, przedstawiciele Uniwersytetu Śląskiego, prof.

Monika Marzec i Roman Planeta – dyrektorzy Instytutu Fizyki UJ, mgr Marek Lipiński z Tarnowskiego Liceum Ogólnokształcącego (w którym prof. Szytuła zdawał maturę), delegacja z Instytutu Niskich Temperatur we Wrocławiu, delegacja z Uniwersytetu Warszawskiego i in. Wielu przyjaciół i współpracowników Jubilata w długiej kolejce składało gratulacje i kwiaty. Wzruszony do łez Profesor przez ponad godzinę przyjmował toasty i życzenia.

Zasługi Jubilata najlepiej ilustruje laudacja wygłoszona przez prof. Rafała Abdank Kozubskiego, którą pozwalam sobie zacytować w całości.

Szanowny Panie Rektorze,
Szanowna Pani Dziekan,
Szanowny Jubilate,
Wysoka Rado,

Szanowni Państwo przybyli na uroczystość odnowienia doktoratu Pana prof. Andrzeja Szytuły po 50 latach, które upłynęły od dnia nadania mu stopnia doktora nauk fizycznych na ówczesnym Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego.

Wystąpienie w roli laudatora podczas tej uroczystości jest dla mnie wielkim zaszczytem. Od przeszło 7 lat kieruję Zakładem Fizyki Ciała Stałego w Instytucie Fizyki UJ, jako następca p. prof. Andrzeja Szytuły, który tę funkcję pełnił nieprzerwanie przez lat 40. Lata te obejmują cały okres mojej obecności w Instytucie Fizyki UJ – od podjęcia studiów, dlatego też Pan Profesor jest dla mnie niemal synonimem „fizyki ciała stałego” uprawianej w naszym Instytucie.

Profesor Andrzej Szytuła urodził się 4 listopada 1940 r. w Tarnowie. Studia fizyczne na Uniwersytecie Jagiellońskim ukończył w roku 1965. W tym samym roku został zatrudniony w Instytucie Fizyki UJ. Stopień naukowy doktora został mu nadany przez Radę Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii UJ w dniu 22 stycznia 1970 r. – czyli niemal dokładnie 50 lat temu.

Wydarzenie to dało początek karierze naukowej, w której wybitnym osiągnięciom naukowym i dydaktycznym towarzyszyło uzyskiwanie kolejnych stopni i tytułów aż do mianowania profesorem zwyczajnym w Uniwersytecie Jagiellońskim w roku 1996.

Jak już wspomniałem, prof. Andrzej Szytuła w latach 1972-2012 pełnił funkcję kierownika Zakładu Fizyki Ciała Stałego w Instytucie Fizyki UJ, a w okresie 1991-1993 był dyrektorem tegoż instytutu.

Zainteresowania naukowe prof. Andrzeja Szytuły koncentrują się na eksperymentalnym określaniu właściwości fizycznych związków międzymetalicznych, wysokotemperaturowych nadprzewodników i manganitów, w tym w szczególności ich właściwości magnetycznych. Kilkudziesięcioletnia działalność Profesora zaowocowała współautorstwem ponad 570 artykułów naukowych, które doczekały się ponad 5 tys. cytowań. Jako uznany autorytet w swojej dziedzinie prof. Szytuła został zaproszony do opracowania dwóch artykułów przeglądowych w reno-

mowanych periodycznych wydawnictwach zagranicznych: *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, tom 12, Elsevier 1989, rozdz. 83, ss. 193-211 (420 cytowań) oraz *Handbook of Magnetic Materials*, tom 6, Elsevier 1991, rozdz. 2, ss. 85-180 (172 cytowania). Do znaczących pozycji w dorobku Profesora należy również wydana w roku 1984 przez CRC Press monografia *Handbook of Crystal Structures and Magnetic Properties of Rare Earth Intermetallics* (295 cytowań). Pomimo przejścia na emeryturę w roku 2012, Profesor nadal prowadzi działalność naukową, a o jego aktywności w tym okresie świadczy współautorstwo około 60 artykułów naukowych. Warto nadmienić, że w latach 2015-2016 pełnił on rolę ERA Chair w projekcie FP7 Strengthening of the MagBioVin Research and Innovation Team for Development of Novel Approaches for Tumour Therapy based on Nanostructured Materials w Instytucie Vinča (Belgrad).

Na szczególne podkreślenie zasługuje dbałość Profesora o rozwój bazy aparaturowej Instytutu Fizyki UJ. Do istotnych osiągnięć na tym polu należy uruchomienie w latach 90. XX w. pracowni spektroskopii elektronów w Zakładzie Fizyki Ciała Stałego co pozwoliło na rozpoczęcie badania struktury elektronowej zaawansowanych materiałów. Kolejną ważną inwestycją był zakup w roku 2010, w ramach projektu ATOMIN, urządzenia Physical Property Measurement System (PPMS), które umożliwia badanie takich właściwości fizycznych jak moment magnetyczny, opór elektryczny czy pojemność cieplna w szerokim zakresie temperatur (1,9 K-400 K) i pól magnetycznych (do 9 T).

O pozycji Profesora w środowisku naukowym świadczy fakt, że od roku 1990 jest on członkiem Komitetu Krystalografii PAN, a przez dwie kadencje przewodniczył Komisji Krystalografii Fizycznej. Od roku 1997 jest przewodniczącym Polskiego Towarzystwa Rozpraszania Neutronów, a w latach 1998-2005 był członkiem zarządu Europejskiego Towarzystwa Rozpraszania Neutronów. Pan Profesor był współorganizatorem dwóch dużych konferencji międzynarodowych: „Cryogenic Fundamentals” w roku 1983,

tj. w 100. rocznicę skraplania składników powietrza oraz „15th Int. Conf. on Solid Compounds of Transition Elements” w roku 2006. Ponadto Profesor współorganizuje cykliczne konferencje z serii “Rozpraszanie Neutronów i metody komplementarne w fizyce fazy skondensowanej” (od roku 1997), jak również katowicko-krakowskie seminaria fizyki fazy skondensowanej (od roku 2001).

Na podkreślenie zasługuje wkład prof. Szytuły w kształcenie studentów oraz rozwój kadry naukowej. Jako nauczyciel akademicki wpłynął on znacząco na rozwój specjalizacji “fizyka materii skondensowanej” na Uniwersytecie Jagiellońskim poprzez wykładanie różnorodnych przedmiotów, opiekę nad pracownią specjalistyczną, jak i opracowanie rozdziałów do trzech podręczników akademickich. Był opiekunem 49 prac magisterskich oraz promotorem 20 prac doktorskich. Ponad 150 razy wystąpił w roli recenzenta prac doktorskich i habilitacyjnych oraz wniosków o nadanie tytułu profesora.

Działalność naukowo-dydaktyczna Profesora została uhonorowana licznymi odznaczeniami i wyróżnieniami, spośród których warto wymienić: Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (1987 r.), Laur Jagielloński (2006 r.) oraz tytuł „profesora honorowego” Uniwersytetu św. Cyryla i Metodego w Skopje (Republika Macedonii) nadany w roku dwutysięcznym.

Szanowny Panie Profesorze!

Mając zaszczyt przypomnieć, a młodszemu kolegom przedstawić tak bogatą działalność Pana Profesora w okresie minionych 50 lat czynię to z prawdziwą dumą, jaką może odczuwać wychowanek mistrza.

Składając serdeczne gratulacje, życzę Panu Profesorowi wielu następnych lat satysfakcji z aktywnego budowania nauki w dobrym zdrowiu i samopoczuciu.

Małgorzata Nowina Konopka,
Polskie Towarzystwo Fizyczne,
Kraków



GLOBALNY PRZEGLĄD ENERGII 2020 WPŁYW KRYZYSU COVID - 19 NA ZAPOTRZEBOWANIE NA ENERGIĘ I EMISJĘ CO₂

Fragment Raportu Międzynarodowej Agencji Energii (IEA)

Obecna pandemia Covid-19 to przede wszystkim globalny kryzys zdrowotny. Na dzień 28 kwietnia 2020 r. odnotowano 3 mln potwierdzonych przypadków i ponad 200 000 zgonów z powodu choroby. W wyniku działań mających na celu spowolnienie rozprzestrze-



niania się wirusa udział zużycia energii, które zostało poddane ograniczeniom, wzrósł z 5% w połowie marca do 50% w połowie kwietnia. Kilka krajów europejskich i Stany Zjednoczone ogłosiły, że spodziewają się ponownego otwarcia części gospodarki w maju, więc kwiecień może być miesiącem, w którym zużycie energii było najniższe.

Obecny kryzys, oprócz bezpośredniego wpływu na zdrowie, ma poważne konsekwencje dla globalnej gospodarki, zużycia energii i emisji CO₂. Nasza analiza danych dziennych do połowy kwietnia pokazuje, że kraje w stanie pełnego zamknięcia/lockdown odnotowują średnio 25% spadek zapotrzebowania na energię tygodniowo, a kraje o częściowym zablokowaniu gospodarki i życia społecznego średnio o 18%.

Codziennie dane gromadzone dla 30 krajów do 14 kwietnia br., reprezentujące ponad dwie trzecie światowego zapotrzebowania na energię, pokazują, że spadek popytu zależy od czasu trwania i surowości blokad.

Globalne zapotrzebowanie na energię spadło o 3,8% w pierwszym kwartale 2020 r., przy czym największy wpływ odczuwano w marcu, gdy środki i działania ograniczające zostały wdrożone w Europie, Ameryce Północnej i innych krajach.

- Najbardziej zmienił się **światowy popyt na węgiel**, spadając o prawie 8% w porównaniu z pierwszym kwartałem 2019 r. Istnieją trzy przyczyny tego spadku. Chiny – z gospodarką opartą na węglu – były krajem najbardziej dotkniętym przez Covid 19 w pierwszym kwartale; tani gaz i dalszy rozwój odnawialnych źródeł energii gdzie indziej stanowiły wyzwanie dla węgla; a łagodna pogoda ograniczała również zużycie węgla.
- Silnie ucierpiał również **popyt na ropę**, który spadł prawie o 5% w pierwszym kwartale, głównie ze względu na ograniczenie transportu/mobilności (w tym lotnictwa), które to sektory zapewniają prawie 60% światowego popytu na ropę. Do końca marca globalna działalność w transporcie drogowym była prawie o 50% niższa niż średnia w 2019 r., a lotnictwa o 60%.
- Wpływ pandemii na **popyt na gaz** był bardziej umiarkowany (około 2%), ponieważ gospodarki oparte na gazie nie były silnie dotknięte koronawirusem w pierwszym kwartale 2020 r.
- **Odnawialne źródła energii** były jedynym źródłem, który odnotował wzrost popytu, spowodowany większą zainstalowaną mocą i priorytetową wysyłką.
- **Zapotrzebowanie na energię elektryczną** zostało znacznie zmniejszone w wyniku zastosowania środków blokujących. Zapotrzebowanie na energię elektryczną zmniejszyło się o 20% lub więcej w okresach pełnego zablokowania w kilku krajach, ponieważ wzrost popytu na energię dla nieruchomości mieszkalnych był mniejszy niż redukcja popytu dla operacji handlowych i przemysłowych. Przez tygodnie kształt popytu przypominał wydłużoną niedzielę. Redukcje popytu podniosły udział odnawialnych źródeł energii w dostawach energii elektrycznej, ponieważ popyt w dużej mierze nie wpływa na ich produkcję. Zapotrzebowanie spadło

na wszystkie inne źródła energii elektrycznej, w tym węgiel, gaz i energię jądrową.

Patrząc na cały rok, badamy scenariusz, który określa ilościowo skutki energetyczne powszechnej globalnej recesji spowodowanej miesięcznymi ograniczeniami transportu/mobilności oraz działalności społecznej i gospodarczej. W tym scenariuszu wyjście z głębi recesji blokującej (lockdown) następuje jedynie stopniowo i towarzyszy jej znaczna trwała utrata działalności gospodarczej, pomimo wysiłków podejmowanych w ramach polityki makroekonomicznej.

Rezultatem takiego scenariusza jest spadek zapotrzebowania na energię o 6%, największy od 70 lat w wartościach procentowych i największy jak dotąd w wartościach bezwzględnych. Wpływ Covid 19 na zapotrzebowanie na energię w 2020 r. byłby ponad siedem razy większy niż wpływ kryzysu finansowego z 2008 r. na globalne zapotrzebowanie na energię.

Wpłynie to na wszystkie paliwa:

- **Popyt na ropę** może spaść o 9%, czyli średnio o 9 mb/d w ciągu roku, powodując powrót zużycia ropy do poziomów z 2012 r.
- **Zapotrzebowanie na węgiel** może spaść o 8%, głównie dlatego, ponieważ zapotrzebowanie na energię elektryczną będzie prawie o 5% niższe w ciągu roku. Odzyskanie popytu na węgiel dla przemysłu i produkcji energii elektrycznej w Chinach może zrównoważyć większe spadki w innych krajach.
- **Zapotrzebowanie na gaz** może spaść znacznie bardziej w ciągu całego roku niż w pierwszym kwartale, przy zmniejszonym zapotrzebowaniu na aplikacje energetyczne i przemysłowe.
- **Zapotrzebowanie na energię jądrową** również spadłoby w odpowiedzi na niższe zapotrzebowanie na energię elektryczną.
- Oczekuje się, że **zapotrzebowanie na odnawialne źródła energii** wzrośnie z powodu niskich kosztów operacyjnych i preferencyjnego dostępu do wielu systemów elektroenergetycznych. Niedawny wzrost zdolności produkcyjnej, niektóre nowe projekty dostępne w Internecie w 2020 r. również zwiększyłyby wydajność OZE.

Według naszych szacunków na 2020 r. globalne zapotrzebowanie na energię elektryczną spadnie o 5%, przy 10% redukcji w niektórych regionach. Źródła niskoemisyjne znacznie przewyższałyby generację węglową na świecie, przewyższając prognozy ustanowione w 2019 r.

Oczekuje się, że globalne emisje CO₂ spadną o 8%, czyli prawie 2,6 gigaton (Gt), do poziomów sprzed 10

lat. Taka redukcja rok do roku byłaby największa w historii, sześciokrotnie większa niż poprzednia rekordowa redukcja o 0,4 Gt w 2009 r. – spowodowana globalnym kryzysem finansowym – i dwa razy większa niż łączna suma wszystkich poprzednich redukcji od końca II wojny światowej. Jednak, podobnie jak po poprzednich kryzysach, odbicie emisji może być większe niż spadek, chyba że fala inwestycji mających na celu wznowienie

gospodarki będzie przeznaczona na czystsza i bardziej odporną infrastrukturę energetyczną.

*mechaniczne tłumaczenie zredagował
Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

POŻARY W CZARNOBYLSKIEJ STREFIE WYKLUCZENIA

Na terenie Czarnobylskiej Strefy Wykluczenia pożary traw, zarośli i lasu są stałym zjawiskiem, występującym co roku w okresie od wiosny do jesieni. Są wywoływane przez pioruny uderzające w wyschnięte drzewa lub samozapłonami wyschniętej ściółki. Jednak zdecydowana większość pożarów jest związana z działalnością ludzi. Porzucanie na otwartych terenach stłuczki szklanej często prowadzi w słoneczne dni do powstania efektu soczewki, skupiającej promienie światła na materiale palnym. Znana jest też ścisła korelacja liczby i miejsca powstawania pożarów od prowadzonych prac porządkowych w Strefie, związana z wyrzucaniem niedopałków papierosów przez wykonujących te prace pracowników oraz kierowców pojazdów.

Strefa Wykluczenia to obszar o powierzchni 2 600 km² na graniczących z Białorusią terenach północnej Ukrainy. Granice Strefy wyznaczono po awarii czwartego bloku Czarnobylskiej Elektrowni Atomowej 26 kwietnia 1986 r., a w późniejszych latach były modyfikowane zarówno przez dodawanie nowych terenów, jak i wykluczenia innych obszarów.

Specyficznym dla wczesnej wiosny i realiów Strefy Wykluczenia jest szczyt zaprószeń ognia w okolicach Wielkanocy. W prawosławiu odpowiednik święta zmarłych jest związany z symboliką zmartwychwstania, stąd w tym okresie dawni mieszkańcy ewakuowanych po awarii miejscowości przyjeżdżają, by uporządkować groby swych bliskich. Usunięte z cmentarzy gałęzie są palone na ogniskach, z których wiele nie zostaje dogaszonych lub wiatr powtórnie roznieca ogień z pozostawionych popiołów. Kulturowana na Wschodzie tradycja nakazuje wspominać zmarłych podczas swoistych poczęstunków urządzanych na cmentarzach, a towarzyszy tym posiłkom alkohol i palenie papierosów. Po zakończeniu tej części obchodów niewiele osób pamięta o dokładnym wygaszeniu ognisk i niedopałków. Największe dotychczas pożary w Strefie w roku 2015 zostały zaprószone w ten właśnie sposób.

Pożary w 2020 r. zostały zainicjowane wypalaniem traw poza Strefą, w jej zachodniej części w okolicy miejscowości Poleskoje (dawna historyczna nazwa – Chabno). 4 kwietnia 2020 r. przy wiejącym na wschód wietrze pożar wzniecony przez mieszkańca graniczącej ze Strefą miejscowości przeniósł się na niezamieszkałe tereny wysiedlonych po awarii terenów. Analogiczna sytuacja miała miejsce 15 kwietnia br. na południowej granicy Strefy, w okolicy miejscowości Tołstij Les (ukr.: gęsty las). Mimowolnych sprawców obu pożarów zatrzymano, ale na Ukrainie wczesnowiosenne wypalanie roślinności jest zjawiskiem nagminnym, pożary traw o szerokości kilometra na nikim nie robią większego wrażenia.

W Strefie zanotowano też jeden niewielki pożar pod linią wysokiego napięcia, wywołany spięciem na gałęzi nawianej przez wiatr. W związku z wykonywanymi wiosną pracami porządkowymi przy utrzymaniu Strefy (usuwaniami wyschniętych gałęzi, pracami konserwacyjnymi infrastruktury terenu, itp.) należało się również spodziewać pewnej liczby pożarów wywołanych niedogaszonymi przez pracowników i kierowców niedopałkami papierosów. Jednak najbardziej istotnym czynnikiem (dotychczas nie spotykanym na tę skalę) okazały się celowe podpalenia.

W niewytłumaczalny statystyką sposób ogniska pożarów zaczęły się pojawiać wokół miasteczka Czarnobyl, w dodatku analiza zdjęć satelitarnych wskazywała na pojawianie się nowych źródeł ognia w kierunku pod wiatr, wiejący na południowy-wschód. Sugerowały one poruszanie się podpalaczy w stronę przeciwną do wywołwanego przez nich ognia. Pojawiły się również przypuszczenia, że miejsca pożarów są ściśle związane z miejscami prowadzenia nielegalnych wyrębów lasu i miejscami pracy złomiarzy. Liczba nowych ognisk, ich umiejscowienie i charakterystyka tego zjawiska nie pozostawiały wątpliwości co do nienaturalnych przyczyn rozwoju sytuacji.

W szczytowym momencie walki z pożarami w Strefie Wykluczenia udział brało około 1 300 osób (głównie zawodowych strażaków), 200 pojazdów specjalistycznych (wozów strażackich i ciężkich inżynierskich pojazdów gaśnicowych do wykonania ponad tysiąca kilometrów pasów przeciwpożarowych), 3 śmigłowce i 3 samoloty

gaśnicze zrzucające dziennie do ponad 400 ton wody, oraz kilka dronów do kontrolowania zagrożonych terenów. Po trzech tygodniach na północnej Ukrainie wystąpiły opady deszczu i wyraźny spadek temperatury, co przyczyniło się do zmniejszenia zagrożenia pożarowego. Pod koniec kwietnia sytuacja w całej Strefie została opatowana, do zabezpieczenia pogorzelskich pozostawiono jedynie niewielkie oddziały strażaków.

Według wstępnych szacunków pożary pochłonęły 11,5 tys. ha w południowo-zachodniej części Strefy, co stanowi około 5% jej terytorium. Jednak dotkniętych w mniejszym lub większym stopniu może być nawet 60 tys. ha. Pożary nie spowodowały istotnych strat wśród zamieszkujących te tereny dużych dzikich zwierząt kopytnych – koników Przewalskiego, łosi i saren. Bez większych problemów przemieszczały się na tereny nieobjęte ogniem, a wywołany sytuacją stres psychiczny łagodziły prowadzone przez służby leśne akcje dokarmiania i wykładania solnych lizawek. Udzielono co prawda pomocy kilkutygodniowemu źrebięciu z poparzonymi kopytami, ale był to izolowany przypadek. Populacja ptaków również znacząco nie ucierpiała, a ogromna mobilność tych gatunków zapewnia zasiedlenie terenów nawet w przypadkach masowych padnięć. Najbardziej poszkodowanymi są gatunki niewielkich gryzoni, jeży i zajęcy. Na pogorzelskich odnajdywano wiele poparzonych zwierząt należących do tej grupy fauny.

Podczas pożarów nie doszło do powstania zagrożenia radiologicznego. Sytuacja na całym obszarze Strefy jest w sposób ciągły monitorowana przez system automatycznie dokonujący pomiarów oraz przekazujący drogą radiową wyniki do systemu „Ekocentr”, a tworzone automatycznie mapy poziomu promieniowania są ogólnie dostępne przez Internet. Nawet pożar tak zwanego „Zrudziałego Lasu” (między elektrownią a wjazdem do miasteczka Prypeć) nie wprowadził zagrożenia – obszar ten zresztą w ubiegłych latach już kilkakrotnie był miejscem lokalnych pożarów i następujących po nich powtórnych naturalnych zalesień terenu.

Podejrzenia co do nienaturalnego charakteru pożarów umocniło schwytywanie dwóch pochodzących z okolicy Kijowa podpalaczy, którzy przemieszczając się na motorowerach, dokonywali kolejnych podłożeń ognia. W dodatku w chwili dokonywania zmian personalnych w zarządzie Strefy doszło do próby podpalenia szafy z dokumentacją udzielanych zezwoleń na przeprowadzenie wyrębów sanitarnych oraz wywozu złomu. To sugeruje akcje zatarcia śladów nielegalnych interesów związanych z działalnością gospodarczą w Strefie.

W powszechnej na Ukrainie opinii fala niezwykle gwałtownych pożarów była inspirowana ze strony służb specjalnych Federacji Rosyjskiej, by wywołać dodatkowe

niepokoje społeczne w czasie walki z pandemią koronawirusa. W Polsce w okolicy rocznicy awarii czarnobylskiej można było zaobserwować falę plotek i sensacyjnych doniesień o rzekomym zagrożeniu promieniowaniem, związanym z sytuacją w Strefie Wykluczenia. Informacje o zadymieniu Kijowa oczywiście nie wspominały, że przyczyną były płonące torfowiska w obwodzie żytomierskim, na zachód od Strefy. W kwietniu wiatry wiały bowiem cały czas w kierunku na południowy-wschód.

Tegoroczne pożary niewątpliwie wpłyną na zmianę polityki Ukrainy w stosunku do Strefy Wykluczenia. Jednak na tym szczeblu decyzje czasami miewają podtekst znacząco różny od realnej sytuacji i jej merytorycznej oceny.

*Marek Rabiński,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk*

PREZYDENT DUDA WRĘCZYŁ ORDERY ORŁA BIAŁEGO

3 maja 2020 r., tradycyjnie już Prezydent RP wręczył w Pałacu Prezydenckim ordery Orła Białego.

Kilka słów o historii. Order Orła Białego to najwyższe odznaczenie państwowe Rzeczypospolitej Polskiej przyznawane za wybitne zasługi cywilne i wojskowe na rzecz kraju, zarówno w czasie wojny, jak i pokoju. Nie dzieli się na klasy. Może być przyznany także cudzoziemcom.

Historia przyznawania orderu sięga XVIII w., kiedy to król August II Mocny ustanowił go jako odznaczenie dla magnaterii, która wsparła króla w wolnej elekcji. Przechodził niechlubne koleje losu, będąc w czasie panowania króla Stanisława Augusta przyznawane przez carycę Katarzynę. Po trzecim rozbiórze Polski przestano go nadawać.

Ponownie wręczono go w 1807 r. jako najwyższe odznaczenie Księstwa Warszawskiego, potem Królestwa Polskiego. Po upadku Powstania Listopadowego, car zakazał wręczanie orderu, zlikwidował także Order Virtuti Militari zastępując je odznaczeniem carskim.

Po odzyskaniu niepodległości, w roku 1921, Sejm Rzeczypospolitej przywrócił wagę Orderu Orła Białego ponownie nadając mu rangę najwyższego odznaczenia państwowego, otrzymując także nowy wygląd.

Po II wojnie światowej order nie był przyznawany, a właściwie tylko kilka razy przez rząd RP na obczyźnie, od roku 1960 nie wymienia się Orderu Orła Białego jako

W tym roku uhonorowani Orderem Orła Białego zostali – cytując za Kancelarią Prezydenta:

Postanowieniem Prezydenta Rzeczypospolitej Polskiej Andrzeja Dudy odznaczeni zostali:

ORDEREM ORŁA BIAŁEGO

*w uznaniu znamienitych zasług dla polskiej onkologii,
za osiągnięcia w podejmowanej z pożytkiem dla kraju pracy zawodowej i społecznej
oraz popularyzowanie polskiej myśli naukowej na świecie*

prof. dr hab. Andrzej KUŁAKOWSKI

lekarz, chirurg onkolog, profesor nauk medycznych, wychowawca wielu pokoleń lekarzy, współtwórca nowoczesnej chirurgii onkologicznej w Polsce

*w uznaniu znamienitych zasług w popularyzowaniu i upowszechnianiu wiedzy naukowej,
za zaangażowanie na rzecz kształtowania społeczeństwa obywatelskiego i działalność publiczną.*

prof. dr hab. Wojciech ROSZKOWSKI

ekonomista, historyk, profesor nauk humanistycznych, nauczyciel akademicki, autor publikacji z zakresu historii Polski, w tym wydawanej w podziemiu pod pseudonimem Andrzej Albert „Najnowszej historii Polski”

najwyższego odznaczenia państwowego. Zastąpił go Order Budowniczych Polski Ludowej.

W grudniu 1992 r. order został restytuowany. Pierwszą osobą, która otrzymała Order Orła Białego po jego przywróceniu, był Lech Wałęsa. W roku 1993 prezydent Lech Wałęsa wręczył go papieżowi Janowi Pawłowi II oraz królowi Szwecji, Karolowi XVI Gustawowi. Ciekawostką jest fakt przyznania orderu szkole (otrzymała je jako jedyna w Polsce) Gimnazjum Nr 28 we Wrocławiu otrzymało imię Kawalerów Orderu Orła Białego.

O prof. dr hab. Andrzejowi Kułakowskiemu pisałam obszerniej w jednym z ubiegłorocznych numerów PTJ z okazji 90 urodzin Profesora. Pisałam o wybitnym chirurgu onkologu, lekarzu uwielbianym przez pacjentki, człowieku z pasją oddającym się chorem, z odwagą organizującemu nowe placówki, dydaktykowi uczącemu z zaangażowaniem swoich następców, wreszcie społeczniku zakładającemu organizacje wspierające chorych, jak Stowarzyszenie Amazonki. Pacjenci i współpracownicy doceniają w Profesorze ogromną wiedzę, doświadczenie, ale także sposób w jaki traktuje pacjentów. Szacunek, uwaga, skupienie, ale także poczucie humoru. W roku 1994 prof. Andrzej Kułakowski założył Towarzystwo Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie działające w historycznym budynku Instytutu Radowego, obecnie Centrum Onkologii przy ul. Wawelskiej 15. Obecnie jest Prezesem Honorowym Towarzystwa wspierając je swoją wiedzą, doświadczeniem i sercem.

Gdybym miała wymienić osoby, które wywarły wpływ na moje życie, niewątpliwie jedną z Nich byłby prof. Andrzej Kułakowski.

Zarząd Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie postanowił uhonorować Założyciela i Prezesa Honorowego wręczając Mu kosz biało-czerwonych róż.

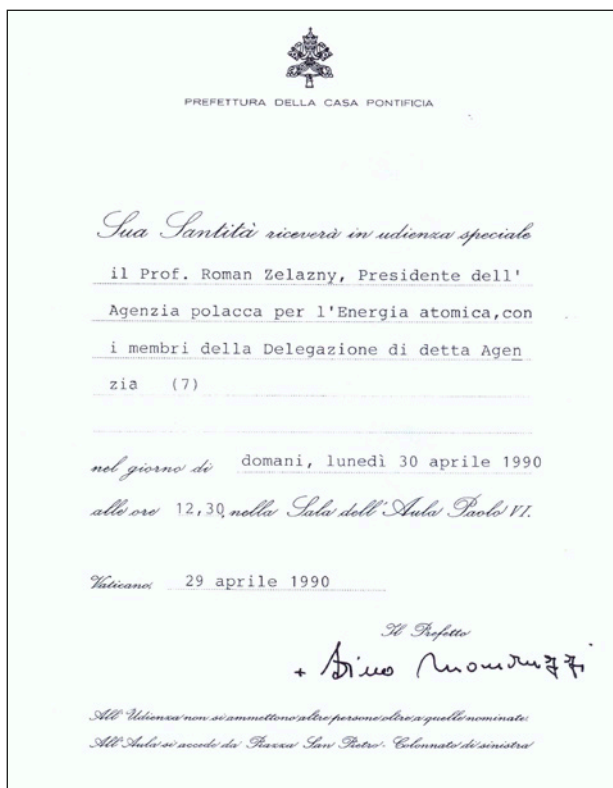
Panie Profesorze, w Imieniu Zarządu Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie i własnym, składam Panu najserdeczniejsze gratulacje.

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

100-LECIE I 30-LECIE

Sejm ustanowił rok 2020 Rokiem Świętego Jana Pawła II. 18 maja 2020 r. obchodziliśmy stulecie urodzin Karola Wojtyły, Ojca Świętego Jana Pawła II, „naszego wielkiego rodaka zasłużonego w walce o wyzwolenie Polski spod jarzma komunizmu” – jak głosi uchwała Sejmu.

Święty Jan Paweł II zajmuje szczególne miejsce w historii Polski i Europy. «Jego zdecydowane upominanie się o prawo naszej ojczyzny do wolności wśród narodów Europy, Jego praktyczna obrona praw naszego narodu uczyniły Ojca Świętego najważniejszym z ojców niepodległości Polski. W czasie pierwszej pielgrzymki Jana Pawła II do Polski w 1979 r. rozpoczął się proces, który zaowocował powstaniem „Solidarności, wyzwoleniem narodu spod panowania komunizmu i odbudową jedności Europy. Dla nas, Polaków, pontyfikat papieża Polaka ma więc znaczenie szczególne” – czytamy w uchwale.



Fot. 1. Skan zaproszenia na spotkanie z Janem Pawłem II w dniu 30 kwietnia 1990 r. adresowane do prof. Romana Żelaznego i delegacji PAA

Wspominając pontyfikat Jana Pawła II – sporadycznie albo wcale – nie przytacza się informacji o wydarzeniach dotyczących relacji papieża z naukowcami, w szczególności zajmującymi się problematyką jądrową.

NIE CZEKAJCIE NA ATOM!

Zwolenników energetyki jądrowej w Polsce przepraszam za metonię (i jej zagadkowość!) w tytule. I spieszę z wyjaśnieniami, informując wszystkich jej zwolenników i przeciwników. W naszym sielskim kraju nad Wisłą nie będzie energetyki jądrowej. Przeciwnicy – a jest ich przecież nie mało – mogą wreszcie oddychać z ulgą. Do historii przeszło już przed wielu laty Ministerstwo Energetyki i Energii Atomowej w Polsce. Najmłodszemu pokoleniu przypomnijmy, że takowe w Polsce było! Niedawno zlikwidowano również Ministerstwo Energii.



Przypomnieniem tego ostatniego faktu bynajmniej nie sugeruję, że niebawem w Polsce energii też nie bę-



Fot. 2. Audycja u Ojca Świętego Jana Pawła II delegacji Państwowej Agencji Atomistyki wraz z prezesem Romanem Żelaznym (1990 r.)

Warto może – w Roku Świętego Jana Pawła II przypomnieć wydarzenie, które miało miejsce 30 kwietnia 1990 r. Tego dnia Jan Paweł II przyjął w Watykanie delegację Państwowej Agencji Atomistyki z jej prezesem prof. Romanem Żelaznym. W składzie delegacji wchodził wówczas prof. Andrzej Chmielewski (fot. 1.). Relację prof. Chmielewskiego z tego spotkania przytoczymy w następnym numerze naszego czasopisma. Opublikujemy również materiał na temat relacji papieża z fizykami krakowskimi.

Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

dzie. Energia, o czym wiemy ze szkolnych lekcji fizyki, jest zawsze. Dlatego prawidłowo powinno się mówić, że nie generujemy energii, ale dokonujemy jej transformacji. Acz i tego nie można być tak do końca całkowicie pewnym. Skoro – jak podają miarodajne statystyki 60% naszej energetyki, dawno już przekroczyło wiek emerytalny przewidziany dla pracy np. bloków energetycznych. One powinny przechodzić na emeryturę o dużo wcześniej niż obsługujący ją inżynierowie ruchu. Nie mają jednak swych związków zawodowych, zatem pracują ponad projektowany dla nich czas eksploatacji. Jak twierdzą energetycy, ma to miejsce wyłącznie dzięki ich determinacji, wiedzy i umiejętnościom. Czego nie chciałbym zaprzeczać, dopóty świeci ostatnia żarówka. A ona zgaśnie wraz z końcem naszej wyeksploatowanej krajowej energetyki sama. Zatem nie sprawdzi się też porzekadło, że ostatni gasi światło. A zamiast transformacji energetyki będziemy wtedy mieli transformację polityczno-gospodarczo-społeczną. O szczegóły należy pytać futurologów, a nie futurystów. A może politologów, skoro nawet rewolucji wykluczyć się nie da. Co skłania mnie do takiej jak powyższa filipiki? Zastrzegam, że nie

występuję ani przeciwko Filipowi Macedońskiemu II, ani też Markowi Antoniuszowi. Proszę nie personifikować tego tekstu. Idzie o pragmatyzm i zwykły ludzki rozsądek. Innymi słowy, odrobinę racjonalności na co dzień!

W czasie epidemii gospodarka spowalnia i zapotrzebowanie na energię elektryczną spada. Rosną tylko hałdy krajowego węgla. A tym martwią się tylko górnicy dołowi. Systematycznie spada też wartość giełdowa naszych krajowych koncernów energetycznych. Tym chyba w ogóle nie martwią się ich szefowie. Zasada z dawnych i niesłusznych czasów sprawdza się też w czasach słusznych, zatem każdy rząd się wyżywi. A tak najzupełniej serio. Po co nam krajowa energetyka? Jak wynika z danych statystycznych – a te jak wiemy, nie kłamią, no – może nie zawsze, ale w tym wypadku chodzi przecież o zwykłą arytmetykę, czyli wyliczenia finansowe. W roku minionym im więcej energii elektrycznej kupiliśmy za granicą, tym więcej zaoszczędziliśmy w budżecie pieniędzy. I dla osób mających mentalność księgowych, powiedzmy od razu! Nie były to miliony złotych. Zgadnij więc koteczku – jak pisał w swych felietonach niezrównany Kisiel – czy były to zaoszczędzone setki tysięcy, czy miliardy złotych?

W tym roku zakupów prądu elektrycznego – dzięki rosnącej sprawności technicznej energetycznych połączeń transgranicznych (brawo PSE!) będzie chyba

jeszcze więcej. A może zatem wcale nie produkujemy energii. Nie potrzebne nam elektrownie, mogą zostać tylko druty i słupy! Powietrze będziemy mieli zdrowsze, a i Komisja (Europejska) spojrzy na nas łaskawszym okiem. A co do zaanonsowanej na wstępie energetyki jądrowej w naszym kraju planowanej – nie chcę powiedzieć od zawsze – ale na pewno od wielu dziesiątek lat przez rządy wszystkich możliwych opcji politycznych? Co notabene kosztuje już podatników sporo milionów złotych! Po pierwsze, tak naprawdę z ręką na sercu – po co kolejny kłopot inwestycyjny? Ergo, nikt na tak kosztowną inwestycję nie wyda nawet złamanego szeląga. A ponieważ dobry żart jest tynfa wart, zastanówmy się, czy nie lepiej przeczytać ostatni raport Greenpeace w kwestii energii atomowej. Albo zatopić się – bez reszty – np. w lekturze ostatniego (tj. pierwszego tegorocznego) numeru czasopisma „Postępów Techniki Jądrowej”? A może skoro więcej teraz przebywamy w domowych pieleszach, należy zgłębić racjonalne argumenty redaktorów „PTJ” i nawet najbardziej emocjonalne sugestie autorów raportu. Od przybytku (wiedzy też) ponoć głowa nie boli. Choć – jak zdaje się wynikać z historii, tym razem literatury: *Mądryemu biada!*

Marek Bielski,
Przegląd Techniczny,
Warszawa



CZĄSTKI ELEMENTARNE

W poszukiwaniu fundamentalnej natury rzeczywistości

Wydawnictwo Prószyński i S-ka Warszawa 2017

Tytuł oryginału: **THE PARTICLE ZOO The search for the Fundamental Nature of Reality**

Autor: **Gavin Hesketh**

Tłumaczenie: Urszula i Mariusz Seweryńscy

Książka CZĄSTKI ELEMENTARNE jest opowiadaniem o najbardziej fundamentalnych obiektach, z których zbudowany jest cały Wszechświat. Mimo że zdaniem autora najlepszym językiem opisującym świat cząstek elementarnych jest matematyka, to stara się on przedstawić ten świat w sposób jak najbardziej obrazowy, by przybliżyć czytelnikowi wielkie idee i różnorodne koncepcje stanowiące podstawy nowoczesnej fizyki.

Autor Gavin Hesketh jest fizykiem eksperymentalnym pracującym w Kolegium Uniwersyteckim w Londynie (*University College London*). Uniwersytet Londyński założono w 1826 r. Była to jedyna świecka uczelnia w Wielkiej Brytanii. Po reformie w 1836 r. zmieniła nazwę na Kolegium Uniwersyteckie w Londynie.



Fot.1. Projekt okładki Prószyński Media

Motywnym przewodnim jest historia etapowego uzupełniania Modelu Standardowego, którego podstawy teoretyczne opisujące relacje (oddziaływania elektromagnetyczne, silne i słabe) pomiędzy cząstkami elementarnymi powstawały w latach 70 XX wieku. Podstawy teoretyczne zostały w większości potwierdzone eksperymentalnie. W doświadczeniach wykrywano cząstki, których istnienie przewidywano, ale jednocześnie powstawały nowe pytania wymagające

wyjaśnienia. Można uznać, jak twierdzi autor, że były to poszukiwania czy uda się obalić założenia modelu. Model był oparty na powstałych wcześniej pracach fizyków (Pauliego, Heisenberga, Schrödingera, Fermiego, Diraca, Einsteina, Plancka i wielu innych) i wyjaśniał mechanikę kwantową, chromodynamikę kwantową, związek między oddziaływaniami elektromagnetycznymi i jądrowymi słabymi (teoria elektroslaba). Problemy te są przedstawione w książce.

W latach czterdziestych XX wieku powstały trzy teorie cząstek (Richarda Feynmana, Juliana Schingera i Shin'ichiro Tomonagi), które okazały się równoważne. Ze względu na swoje zalety użytkowe wynikające z graficznego przedstawienia zależności między cząstkami stosowana jest powszechnie metoda zaproponowana przez R. Feynmana. Metoda diagramów Feynmana obrazuje wzajemne zachowanie się cząstek, umożliwiając przewidywanie wyników poruszania się cząstek i oddziaływań bez przeprowadzania złożonych obliczeń, Diagramy mogą być bardzo złożone, zawierać pętle, można je obracać, łączyć się w ciągi itp. W książce przedstawiono, jak przy ich pomocy eksperymentatorzy wykrywali konieczność przeprowadzenia następnych doświadczeń potrzebnych do potwierdzenia słuszności lub nie modelu standardowego.

Opisana jest również szczegółowa klasyfikacja wszystkich wykrytych dotychczas cząstek i wyjaśnienie ich roli w tworzeniu materii. Ogólnie są dwie grupy cząstek fermiony (nazwane na cześć Enrico Fermiego) tworzące materię i bozony (nazwane na cześć fizyka hinduskiego Satyendry Natha Bosego) przenoszące oddziaływania oraz bozon Higgsa nadający masę cząstkom, z którymi oddziałuje. Opis wzajemnych bardzo złożonych zależności, historia ich wykrywania i wykrywania cząstek, historia początkowych badań, opis używanej aparatury stanowi bardzo interesującą lekturę. Ułatwieniem w zrozumieniu przedstawianych zjawisk są barwne analogie znane z codziennych doświadczeń. Jest to konieczne, przy całej komplikacji opisywanych mechanizmów bowiem łatwo można zgubić przewodnią myśl wywodu. Dodatkowo utrudnienie wynika z faktu, że każda cząstka ma swój odpowiednik w antymaterii.

Dużo uwagi poświęcono doświadczeniu, w którym wykryto ostatni brakujący element do udowodnienia poprawności modelu standardowego – długo poszukiwany bozon Higgsa (44 lata). Przy tej okazji autor opisał, jak są przygotowywane doświadczenia w CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) przy wykorzystaniu LNC (Large Hadron Collider), jak jest on zbudowany i jak przeprowadza się analizę uzyskanych wyników. LNC powstawał kilka lat. Do jego budowy wykorzystano poprzednie używane urządzenia. Podziw

budzi precyzja jego wykonania absolutnie konieczna do prawidłowego przeprowadzenia całego eksperymentu. Zderzenia hadronów są przeprowadzane wewnątrz kilku centymetrowej rury o długości 27 km, w której utrzymywana jest wysoka próżnia, umieszczona w tunelu na głębokości 100 m. Maksymalna możliwa do osiągnięcia energia LHC wynosi 13 TeV. Przy tej energii protony osiągają energię 6,5 TeV, dokonując pełnego obiegu pętli LHC 10 000 razy na sekundę. Przeprowadzanych jest jednocześnie kilka eksperymentów. Autor był uczestnikiem eksperymentu ATLAS (A Toroidal LHC Apparatus), przy którym było zatrudnionych 3000 osób. Drugim równie potężnym eksperymentem był CMS (Compact Muon Solenoid). Interesującym elementem końcowym eksperymentu jest długotrwała analiza zebranych danych, w której uczestniczą wszystkie zainteresowane ośrodki naukowe na świecie połączone siecią internetową.

Od chwili, gdy Wolfgang Pauli, rozważając bilans energetyczny rozpadu beta (w 1930 r.), przewidział istnienie dodatkowej cząstki uzupełniającej ten bilans trwała dyskusja, czy taka cząstka w ogóle istnieje, ponieważ nie można było jej wykryć. Nastąpiło to dopiero w 1956 r. Zgodnie z sugestią E. Fermiego cząstkę nazwano neutrino. Autor G. Hesketh poświęcił bardzo wiele uwagi neutrinom (są trzy) omawiając ich rolę w Modelu Standardowym, trudnościom w ich wykrywaniu, metodom pomiarowym, ich właściwościom. Zasygnalizował również nowe koncepcje dotyczące antyneutrino.

W książce przedstawiono również nowe problemy związane z Modelem Standardowym: czy jego obecna forma jest ostateczna, czy wynikające z niego przewidywania odnoszą się do całego widzialnego Wszechświata, gdzie zniknęły antycząstki (antymateria), czy istnieje ciemna materia i energia, jaki może być wpływ grawitacji, jaki był początek Wszechświata i szereg innych problemów związanych z tworzeniem nowych teorii współczesnej fizyki.

W książce zdefiniowano i wyjaśniono podstawowe pojęcia oraz podano alfabetyczny skorowidz rzeczowy. Książka przybliży szeroki obraz problemów, którymi zajmuje się współczesna fizyka. Przeprowadzając analizę problemów, autor podaje wiele bardzo aktualnych wiadomości. Wiele tych informacji jest rzadko poruszana w literaturze popularnej i przeprowadzone rozważania mają charakter dydaktyczny. Dlatego książkę można traktować jako lekturę, przygotowującą do studiów nad fizyką wysokich energii.

*Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów na
Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa*



ADAM GADOMSKI WSPOMNIENIE

(1942-2020)



Fot. 1. Prof. Adam Maria Gadomski

Zmarł Adam Maria Gadomski wieloletni pracownik Instytutu Badań Jądrowych/Instytutu Energii Atomowej w Świerku, Instytutu Onkologii w Warszawie, ENEA i ECO-NA w Rzymie, laureat Pleiade International Award 2019 za prace z dziedziny sztucznej inteligencji i kognitywistyki.

Adam Gadomski ukończył Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 1966 r. Pracę dyplomową robił w Instytucie Badań Jądrowych korzystając z możliwości badawczych reaktora EWA. Jak pamiętam dotyczyła niezwykle rzadkiego tzw. potrójnego rozszczepienia (dwa fragmenty i cząstka alfa), co zapewne opisane zostało w publikacji pt. „Energy distribution of low range alpha-particles emitted during the thermal neutron fission of U235” w Acta Physica Polonica (seria A) w styczniu 1968 r., której był współautorem. Po krótkim okresie pracy w Przemysłowym Instytucie Telekomunikacji przeniósł się do Zakładu Fizyki Reaktorowej w IBJ. W instytucie zajmował się ogólnie modelowaniem procesów fizycznych w reaktorze jądrowym. Z lat 1975-1981 można przytoczyć tytuły jego seminariów za księgą pamiątkową, która jest w moim posiadaniu:

- Obliczenia reaktywnościowe on-line
- Metoda zaburzeń osobliwych w zastosowaniu do rozwiązania jednopunktowych równań kinetyki reaktora
- Czasowa analiza i algorytm przetwarzania sygnału prądowego z rodowego detektora samozasilającego (wspólnie z Barbarą Sadowską)
- Dokładność pomiarów reaktywności metodą „inverse kinetics”
- Dokładność pomiaru małych reaktywności w czasie rzeczywistym metodą odwrotnej kinetyki (wspólnie z Jackiem Boużykiem i Moniką Sujczyńską)

- Cykl seminariów z zimowych kursów fizyki i reaktorów w Trieście:
- Referaty na VII Sympozjum Fizyki Reaktorów WWER
- Wyniki pomiarów metrologicznych charakterystyk rodowych kolektronów w reaktorze WWER w EA Kozłoduj (wspólnie z m.in. Moniką Sujczyńską)
- Propozycja wprowadzenia geometrycznej składowej do nodalnego modelu dynamiki reaktora
- Reaktywność lokalna w przestrzennie zależnej dynamice reaktora jądrowego co bardziej odzwierciedla jego aktywność niż podanie tytułów publikacji czy raportów wewnętrznych instytutu.

Uzupełnieniem tej listy niech będzie zamieszczone w ramce wspomnienie Moniki Sujczyńskiej, z którą współpracował przed wyjazdem do Włoch w 1984 r.

Poza fizyką miał dwie pasje: *science fiction* i nurkowanie. Jego ulubionym pisarzem był (naturalnie) Stanisław Lem; przeczytał chyba wszystkie książki Lema, również te filozoficzne, m.in. „Summa technologiae”, do której często odnosił się w rozmowach z przyjaciółmi. Był bardzo dumny ze swego sprzętu do nurkowania, który w tamtych czasach niełatwo było skompletować. Marzyły mu się ciepłe morza, podwodne polowania na drapieżniki morskie; nawet zaprogramowany przez siebie (w Fortranie) symulator rdzenia reaktora jądrowego nazwał SHARK. Oprócz dużej biblioteki miał w domu całkiem spore akwarium. Interesowało go też malarstwo; zdaje się, że próbował kiedyś malować.

Oczywiście, najważniejsza była dla niego fizyka. Po studiach na Uniwersytecie Warszawskim przez dziesięć lat pracował w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku, w Zakładzie Fizyki Reaktorowej. Był członkiem niewielkiego zespołu, który miał za zadanie stworzenie symulatora dynamiki reaktora typu wodnego ciśnieniowego w oparciu o proste modele matematyczne procesów zachodzących w jego rdzeniu. Jednocześnie przygotowywał dysertację doktorską pod kierunkiem prof. Janusza Miki.

Aby się skupić nad poważnym zagadnieniem, potrzebował spokoju i ciszy. Dlatego pracował po południami i wieczorami, kiedy poza nim w pokoju nie było nikogo. Dopiero wtedy praca sprawiała mu prawdziwą przyjemność. Był przyjaźnie nastawiony do koleżanek i kolegów, ale nie starał się nikomu nadmiernie przypodobać. W dyskusjach zawzięcie bronił swoich, często niezbyt popularnych, poglądów. Pewnie dlatego uważano go za ekscentryka. Wobec tych, którzy darzyli go przyjaźnią, był zawsze lojalny. Przyjaźń traktował poważnie.

W sierpniu 1984 r. wyjechał z rodziną do Włoch. Odtąd do emerytury w 2008 r. pracował w ENEA – Centro Ricerche Casaccia, niedaleko Rzymu, w pobliżu pięknego jeziora wulkanicznego i położonego nad nim historycznego miasteczka Bracciano, w którym zamieszkali. Będąc patriotą starał się nie tracić kontaktu z krajem, z Warszawą. We Włoszech czynnie wspierał działalność organizacji polonijnych, brał udział w uroczystościach organizowanych przez ambasadę polską w Rzymie.

We Włoszech zainteresowania naukowe Adama powoli ewoluowały w kierunku zastosowań sztucznej inteligencji podczas awarii w elektrowniach jądrowych. Opracował pionierską metodologię/metateorię TOGA (akronim Top-down Object-based Goal-oriented Approach) modelowania lub identyfikowania sytuacji kryzysowych, w których decyzje podejmowane przez ludzi powinny być wspomaganie przez sztuczną inteligencję. Dużo publikował, brał udział w konferencjach. Latem 2019 r. otrzymał prestiżową nagrodę *Pleiade International Award*, przyznawaną osobom, które przyczyniły się do postępu ludzkości, czy to w dziedzinie technologii czy kultury. Nie odebrał jej osobiście, od dłuższego już czasu zmagając się z chorobą serca.

Jak mogę sobie przypomnieć, wtedy przed wyjazdem do Włoch kształtowała się idea ogólnej teorii uwzględnienia czynnika ludzkiego w podejmowaniu decyzji, która znalazła uznanie i otrzymał propozycje stypendium i pracy nad nią we Włoszech. Długo się nad tym nie zastanawiając zostawił w Polsce nieobronioną pracę doktorską i ruszył na południe. Przez kolejne ponad 25 lat kształtowała się ta teoria, która znana jest jako TOGA o podanym wyżej akronimie, ale też żartobliwie określana jako *Theory Of Gadomski Adam*. Napisał wiele artykułów o jej zastosowaniu w sytuacjach kryzysowych wymagających pilnego podejmowania ważnych decyzji w sytuacjach kryzysowych, decyzji wspomaganym sztuczną inteligencją. Z mojej perspektywy w praktyce ta teoria dotyczy również postępowania operatora elektrowni jądrowej co zostało przedstawione na łamach PTJ¹. Prezentował ją na bardzo wielu konferencjach, a m.in. na konferencji w Mądralinie w 2013 r. organizowanej przez PTN.

We Włoszech tytuł 'dottore' przysługuje wszystkim kończącym studia wyższe w innych krajach i tak to uznał Rzymski Uniwersytet La Sapienza. Miał wielu młodych współpracowników, a o jego aktywności świadczy liczna

ponad 140 publikacji na temat tej teorii, których był autorem lub współautorem. Był promotorem pomocniczym kilku prac doktorskich w tym Marty Wronikowskiej, która obecnie pracuje na Uniwersytecie Oksfordzkim przesłała poniższe, bardzo osobiste wspomnienie o Adamie.

*Tak prosto i zwięźle mówi się o zwykłych ludziach,
Robili... Mówili.... Byli.
Prosto się mówi o zwykłych ludziach.
Adam? Adam...
On nie robił - On tworzył
On nie mówił - On tłumaczył, objaśniał
On nie Był - On Istniał i Oby Istniał w pamięci, w historii, po wieki.
Tak prosto i zwięźle mówi się o zwykłych ludziach,
Tak trudno się mówi o Nim.
Trudno mówi się o Niezwykłych Ludziach, którzy
Wyprzedzali Epokę,
których musiał wpieryw zrozumieć Czas, a później cała
ludzkość.
Mam nadzieje, że teoria TOGA nad którą tak pracował,
zostanie w pełni opisana i opublikowana.
Książka, to było zawsze Jego marzenie.*

Potwierdzam, że do ostatnich lat było jego ogromnym pragnieniem by opis teorii TOGA nie pozostawał w odrębnych publikacjach, aby zebrać je wszystkie w jednej osobnej publikacji książkowej, tak mi mówił w czasie spotkania w Rzymie chyba 10 lat temu i wiele razy w rozmowach telefonicznych. Niestety to się nie udało, nie starczyło sił w ostatnim okresie życia, gdy przeszedł na emeryturę.

Nie można zapomnieć o jego działalności polonijnej na terenie Włoch. Był założycielem i pierwszym prezesem AIPRO – Rzymskiego Stowarzyszenia Włosko-Polskiego, którego celem jest rozpowszechnianie kultury polskiej wśród członków AIPRO i obywateli włoskich oraz utrwalanie kultury i tradycji polskich w środowisku polskiej emigracji i wśród przyjaciół Włochów.

Trzeba wspomnieć, że jego syn Witold, był olimpijczykiem w Seulu (1988) i w Barcelonie (1992), dwukrotnym mistrzem Polski w szpadzie (1992 i 1994) i 3-krotnym brązowym medalistą Mistrzostw Polski w tej broni (1989, 1995 i 1996).

Adam Gadomski zmarł 3 marca 2020 r. w Bracciano i pochowany został na lokalnym cmentarzu.

*Na podstawie informacji od Magdaleny Gadomskiej
oraz wspomnień Moniki Sujczyńskiej,
Marty Wronikowskiej,
przygotował Andrzej Mikulski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Warszawa*

¹ A.M. Gadomski, M.W. Wronikowska: Modelowanie słabości czynnika kognitywnego w zarządzaniu zagrożeniami w elektrowniach jądrowych: perspektywa ontologiczna meta-teorii TOGA, PTJ nr 4/2013, s.35-42



POŻEGNANIE PROF. DR HAB. NATALII GOLNIK

(1953-2020)



Fot. 1. Prof. dr hab. Natalia Golnik

Z głębokim żalem i smutkiem zawiadamiamy, że w dniu 17 marca 2020 r. zmarła Natalia Golnik, prezes Stowarzyszenia Ekologów na Rzecz Energetyki Nuklearnej SEREN-Polska, Dziekan Wydziału Mechatroniki Politechniki Warszawskiej, wybitny naukowiec, nauczyciel akademicki, dobry życzliwy człowiek.

Natalia Golnik ukończyła studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w roku 1978. Pracę doktorską obroniła w grudniu 1988 r. uzyskując stopień doktora nauk fizycznych w zakresie fizyki w Instytucie Energii Atomowej. Następnie w 1997 r. uzyskała stopień doktora habilitowanego w zakresie fizyki stosowanej, specjalności fizyka jądrowa nadany na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Rozprawa habilitacyjna dotyczyła metod rekombinacji w dozymetrii promieniowania mieszanego.

Związana była z Instytutem Badań Jądrowych, przekształconym następnie w Instytut Energii Atomowej, w którym pełniła funkcję Zastępcy Dyrektora d/s naukowych.

Pracę na Politechnice Warszawskiej, na Wydziale Mechatroniki, rozpoczęła w 1999 r. Pełniła wiele funkcji, m. in. Zastępcy Dyrektora Instytutu Metrologii i Inżynierii Biomedycznej ds. nauki, a także Zastępcy Koordynatora Programu Centrum Badań Przedklinicznych i Technologii – CEPT na Politechnice Warszawskiej.

W roku 2010 uzyskała tytuł profesora nauk technicznych. Przez cały okres kierowania Wydziałem Mechatroniki w latach 2012-2020 była aktywnym dydaktykiem. Była znakomitym Dziekanem, umiejącym osiągać założone ambitne cele przy pełnym poparciu pracowników Wydziału. Było to możliwe dzięki Jej cechom osobistym:

kompetencji, konsekwencji w działaniu, a także pogodnemu usposobieniu i życzliwości dla pracowników i studentów, szanowała zdanie innych oraz była otwarta na nowe pomysły.

Od 1999 r. była aktywnym członkiem z wyboru Komitetu Fizyki Medycznej, Radiobiologii i Diagnostyki Obrazowej PAN a od 2005 r. Wiceprzewodniczącą Zarządu Głównego Polskiego Towarzystwa Fizyki Medycznej. W latach 2005 – 2011 z dużym zaangażowaniem działała w European Federation of Medical Physics. Natalia Golnik była również od 2003 r. członkiem Rady ds. Atomistyki przy Prezesie Państwowej Agencji Atomistyki.

Prowadziła wykłady z: radiologii, biofizyki, fizyko-medycznych podstaw inżynierii biomedycznej i radioterapii na Wydziale Mechatroniki oraz wykład – Wstęp do Fizyki Medycznej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Była inicjatorem i organizatorem zajęć laboratoryjnych z radiologii, radioterapii i modelowania procesów biologicznych.

Od 2014 r. była prezesem Stowarzyszenia Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej SEREN-Polska.

Pani prof. Natalia Golnik była wybitną specjalistką w dyscyplinie inżynierii biomedycznej, zwłaszcza w zakresie teorii i konstrukcji komór i urządzeń do dozymetrii promieniowania mieszanego. Wypromowała wielu doktorów w tym zakresie. Była autorką lub współautorką wielu publikacji w prestiżowych czasopismach międzynarodowych, a także współautorką szeregu prac inżynierskich i konstrukcyjnych zastosowanych w praktyce. Brała udział w realizacji 9 projektów międzynarodowych (w tym w 1 jako kierownik) oraz kierowała wieloma projektami krajowymi, w tym była koordynatorem części badawczej strategicznego programu rządowego „Gospodarka odpadami promieniotwórczymi i wypalonym paliwem jądrowym”. Odbiła kilka staży i wizyt naukowych (kilkutygodniowych) w CERN, Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB - Braunschweig, Niemcy) i Paul Scherrer Institute (PSI - Villingen, Szwajcaria). Była redaktorem naczelnym „Polish Journal of Medical Physics and Engineering” oraz członkiem komitetów redakcyjnych czasopism „Inżynier Medyczny” i „Ekoatom”.

Publikowała prace w czasopismach, takich jak „Radiation Protection Dosimetry”, „Radiotherapy and Oncology” czy „Radiation Measurements”.

Była wielokrotnie wyróżniona nagrodą JM Rektora Politechniki Warszawskiej za osiągnięcia w pracy naukowo-dydaktycznej, otrzymała także Złoty Krzyż zasługi.

Pani Profesor była bardzo lubiana przez swoich studentów oraz współpracowników. Jej śmierć została przyjęta z wielkim żalem i jest olbrzymią stratą dla środowiska naukowego atomistyki, nukleoniki, fizyki medycznej i inżynierii biomedycznej.

Zarząd Główny SEREN-Polska,
Marek Rabiński, NCBJ, Warszawa

POŻAR LASU WOKÓŁ CZARNOBYLSKIEJ ELEKTROWNI JĄDROWEJ

Czarnobyl, kwiecień 2020 r.



Pożar lasu w okolicach Burakówki (27 kwietnia 2015 r.) – widok zza Czarnobylskiej Elektrowni Atomowej.



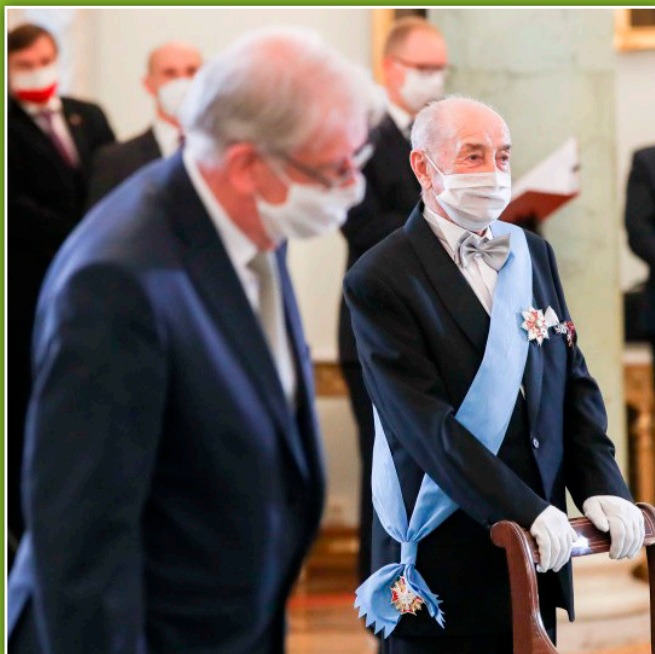
Pojazd do walki z pożarami w Strefie Wykluczenia, na wyposażeniu stacji strażackiej w Paryszewie (na wjeździe do rezerwatu w delcie rzeki Prypeć)



Inżynierski pojazd wojskowy do wykonywania pasów przeciwpożarowych.

Prof. Andrzej Kułakowski odznaczony Orderem Orła Białego w rocznicę uchwalenia Konstytucji 3 maja

Warszawa, 3 maja 2020 r.



*Prof. Andrzej Kułakowski – lekarz, chirurg onkolog, profesor nauk medycznych, współtwórca nowoczesnej chirurgii onkologicznej
– odznaczony Orderem Orła Białego*



*Prezydent Andrzej Duda (4 od lewej), pierwsza dama Agata Kornhauser-Duda (3 od lewej), premier Mateusz Morawiecki (2 od lewej),
wicemarszałek Sejmu Małgorzata Gosiewska (1 od lewej) podczas uroczystości w Pałacu Prezydenckim w Warszawie.
Z okazji Święta Konstytucji 3 Maja prezydent Duda odznaczył Orderem Orła Białego onkologa prof. Andrzeja Kułakowskiego (1 od prawej)
i historyka prof. Wojciecha Roszkowskiego (2 od prawej).*