

POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 63 Z. 4 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2020



WNĘTRZE STELLARATORA Large Helical Device – LHD

fot. Joe Nishizawa, czytaj na str. 2

4-2020

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI NR4/2020

BADANIA TERMOJĄDROWE W POLSCE. CZĘŚĆ 2 Monika Kubkowska, Andrzej Gałkowski.....	2
CO JEST PRZYCZYNĄ BIAŁACZEK U DZIECI MIESZKAJĄCYCH W POBLIŻU ELEKTROWNI JĄDROWYCH? Marek K. Janiak.....	10
PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ A MAŁE REAKTORY MODUŁOWE Maciej Lipka.....	18
REALNA ALTERNATYWA DLA DUŻEGO REAKTORA W POLSCE Andrzej Mikulski.....	24
PRZEGLĄD KONSTRUKCJI DOZYMETRÓW DO UŻYTKU AMATORSKIEGO – WADY I ZALETY Łukasz Karolewski.....	27
KRÓTKA HISTORIA NAGRÓD NOBLA Małgorzata Sobieszczak-Marciniak.....	36
WIADOMOŚCI Z KRAJU.....	44
WIADOMOŚCI ZE ŚWIATA.....	52
WYDARZENIA.....	57
WARTO WIEDZIEĆ.....	67
INFORMACJE O KSIĄŻCE „Z KAMERĄ WŚRÓD UCZONYCH” Wiktor Niedzicki.....	69
FELIETON DOBRY CZAS DLA RODZIMYCH EKSPERTÓW Marek Bielski.....	70
LISTY DO REDAKCJI.....	73
IN MEMORIAM DR RYSZARD GOKIELI (1947 – 2011) - WSPOMNIENIE Dariusz Witold Kulczyński.....	75



Kwartalnik naukowo-informacyjny
Postępy Techniki Jądrowej

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

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

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

Komitet redakcyjny:
Wojciech Głuszewski
Marek Rabiński
Łukasz Sawicki
Elżbieta Zalewska

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

Redakcja:
PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

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

Opracowanie graficzne:
Daniel Jaskóła (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.

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

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

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

Szanowni Państwo

W poprzednim numerze naszego czasopisma pisaliśmy o konsultacjach publicznych dotyczących zaktualizowanego „Programu polskiej energetyki jądrowej”. Donosiliśmy m.in. o tym, że na początku sierpnia 2020 r. Ministerstwo Klimatu skierowało do konsultacji publicznych projekt uchwały Rady Ministrów w sprawie aktualizacji wieloletniego „Programu polskiej energetyki jądrowej”.

Dalsze wydarzenia miały miejsce w październiku 5 października br., opublikowany został Raport z konsultacji publicznych wspomnianego projektu, a kilka dni wcześniej poprawiony PPEJ został przyjęty Uchwałą Rady Ministrów (2 października br.) i opublikowany.

Także w październiku miało miejsce inne ważne wydarzenie. 22 października br. Polska podpisała umowę atomową z USA. Kilka dni wcześniej (19 października br.) umowę podpisał szef Departamentu Energii USA Dan Brouillette.

29 października zachodnie portale doniosły, że spółka SYNTHOS Green Energy (SGE) rozpoczęła rozmowy z polskim regulatorem jądrowym na temat potencjalnego projektu budowy małego reaktora modułowego (SMR) GE Hitachi Nuclear BWRX-300. SGE zwraca się do regulatora, Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), o opinię ogólną, którą określiła jako pierwszy etap procedury poprzedzającej proces regulacyjny dotyczący planowanej budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

O tych i innych pozytywnych wydarzeniach, które miały miejsce w październiku pisze szczegółowo niżej podpisany w tekście „Jądrowy październik”. Zachęcam naszych Czytelników do tej lektury.

Odnotujemy jeszcze, że podczas konferencji „High Temperature Reactors for deep decarbonisation: the Polish example from the Gemini+ research project towards demonstration”, która odbyła się 25 listopada 2020 r., minister klimatu i środowiska Michał Kurtyka oświadczył, że „obok innych technologii niskoemisyjnych energia jądrowa powinna być uważana za głównego gracza”.

Minister Kurtyka podkreślił też, że rozwój bezemisyjnej energetyki jądrowej przyczyni się nie tylko do powstania w Polsce nowej gałęzi przemysłu o wysokim stopniu zaawansowania technologicznego, ale przede wszystkim pozwoli na dalszą dywersyfikację źródeł energii, znaczną redukcję emisji i stabilną pracę systemu elektroenergetycznego integrującego energię odnawialną na masową skalę.

Pierwszy artykuł w bieżącym numerze nie dotyczy jednak energetyki jądrowej. Tytuł artykułu: „BADANIA TERMOJĄDROWE W POLSCE. CZĘŚĆ 2”. Autorzy Monika Kubkowska i Andrzej Gałkowski piszą w podsumowaniu: „Badania nad kontrolowaną syntezą jądrową realizowane są w Polsce w wielu ośrodkach naukowych. Przekrój prowadzonych prac obejmuje szereg różnych dziedzin nauki – od fizyki, chemii, energetyki, poprzez inżynierię materiałową, aż po elektronikę. W Polsce nie ma urzędującego, duża więc część doświadczenia zdobywana jest za granicą, poprzez uczestnictwo w eksperymentach na działających tokamakach czy stellaratorach. Opanowanie technologii energetyki termojądrowej będzie niewątpliwie przełomowym wydarzeniem dla całego świata, warto więc wiedzieć, że także Polska będzie miała w tym swój udział”.

Kolejny artykuł zatytułowany jest: CO JEST PRZYCZYNYĄ BIAŁACZKI U DZIECI MIESZKAJĄCYCH W POBLIŻU ELEKTROWNI JĄDROWYCH? A oto fragment streszczenia: „W latach 80. XX w. pojawiły się doniesienia o występowaniu skupisk (ang. clusters) zachorowań na białaczkę u dzieci mieszkających w pobliżu elektrowni atomowych i innych obiektów jądrowych. Ponieważ wykazano, że poziom promieniowania jonizującego na terenach wokół elektrowni i innych instalacji jądrowych nie stanowi zagrożenia dla zdrowia i życia mieszkających w pobliżu ludzi, najbardziej prawdopodobną przyczyną okazał się brak wystarczającej odporności u dzieci tych mieszkańców na wirusy i inne patogeny pojawiające się na terenach budowy zakładów jądrowych wraz z napływającymi z odległych miejsc nowymi pracownikami tych zakładów”. Autor artykułu Marek K. Janiak jest zastępcą Przedstawiciela Polski w Komitecie Naukowym ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR) oraz członkiem Rady ds. Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej przy Prezesie PAA; w latach 1997-2020 kierował Zakładem Radiobiologii i Ochrony Radiacyjnej Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii.

Dyskutowany w mediach temat PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ A MAŁE REAKTORY MODUŁOWE podejmuje Maciej Lipka z NCBJ. Autor pisze: „Małe reaktory modułowe (SMR) są często przedstawiane jako przyszłość branży jądrowej, rozwiązania, które radykalnie skróci czas budowy elektrowni jądrowych, jedno-

czenie obniżając ich koszty. Niestety w rzeczywistości, z dziesiątek istniejących na papierze projektów, realizowane są na świecie w tej chwili dwa i oba mają znaczne opóźnienia, a ich koszty znacząco rosną względem początkowych zapowiedzi. Oznacza to, że technologia ta nie będzie komercyjnie dostępna jeszcze przez dekady, a w związku z tym nawoływanie do uwzględnienia tego rozwiązania w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej oznacza w istocie odwołanie się do realizacji na nieokreśloną przyszłość”.

Innego zdania jest Andrzej Mikulski, który w tekście REALNA ALTERNATYWA DLA REAKTORA DUŻEJ MOCY W POLSCE uzasadnia postulat, by włączyć do rozważań nad przyszłością energetyki jądrowej w Polsce sprawę reaktorów średniej mocy.

W bogato ilustrowanym tekście Łukasz Karolewski dokonuje PRZEGLĄDU KONSTRUKCJI DOZYMETRÓW DO UŻYTKU AMATORSKIEGO, podając ich wady i zalety.

Ostatni tekst w części artykułowej bieżącego numeru nosi tytuł: KRÓTKA HISTORIA NAGRÓD NOBLA. Nasza współpracowniczka i autorka Małgorzata Sobieszczyk-Marciniak prezentuje kulisy powstawania i przyznawania nagród Nobla oraz sylwetki niektórych nagrodzonych. Artykuł ilustrowany jest wieloma zdjęciami. Zachęcam też do obejrzenia ilustracji na okładce naszego czasopisma.

Część informacyjną numeru otwiera tekst o konferencji NUTECH. Konferencja, która odbyła się w dniach 4-7 października 2020 r. w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie poświęconą była rozwojowi i zastosowaniom technologii jądrowych. Materiał o konferencji przygotowały panie Urszula Gryczka i Dagmara Chmielewska – Śmietanko.

Jedno z kolejnych doniesień dotyczy XLVI NADZWYCZAJNEGO JUBILEUSZOWEGO ZJAZDU FIZYKÓW POLSKICH I OBCHODÓW ROKU FIZYKI. Zjazd odbył się w dniach 16-18 października 2020 r. w Warszawie z okazji setnej rocznicy powstania Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Doniesienie przygotowała Małgorzata Nowina-Konopka.

Ważna informacja dotyczy KONKURSU POLSKIEGO TOWARZYSTWA NUKLEONICZNEGO na najlepsze prace doktorskie, magisterskie, inżynierskie i licencjackie związane tematycznie z atomistyką. Do konkursu mogą być zgłaszane również prace obronione na humanistycznych kierunkach studiów (prawo, ekonomia, turystyka, dziennikarstwo itd.) Warunkiem uczestnictwa w konkursie jest przesłanie do 15.05.2021 r. zgłoszenia i dokumentów w postaci elektronicznej: • streszczenia pracy, • egzemplarza pracy, • recenzji pracy lub opinii opiekuna naukowego, • oceny pracy przez Komisję Egzaminacyjną, • dokumentu potwierdzającego obronienie pracy. W konkursie mogą wziąć udział prace obronione w latach 2019, 2020 oraz 2021. Autorzy najlepszych prac otrzymają nagrody.

Jako bardzo ciekawe doniesienie z zagranicy polecamy PRZEŚLANIE AGNETY RISING: MUSIMY PRZEKROCZYĆ DZIELĄCE NAS MOSTY „Pod wieloma względami przyszłość energii jądrowej jest o wiele jaśniejsza niż była dotychczas. Jesteśmy coraz bardziej rozpoznawalni i cenieni za wyjątkowe usługi, jakie energia jądrowa oferuje ludzkości, i jestem niezmiernie dumna, że służyłam i prowadziłam nasz przemysł przez te ekscytujące czasy” – pisze Agneta Rising, ustępująca dyrektor generalna World Nuclear Association.

Warto przeczytać również podsumowanie III Polsko-Japońskiego Seminarium poświęconego technologiom reaktorów wysokotemperaturowych, które odbyło się w trybie zdalnym tak jak większość tego typu wydarzeń.

O „Jądrowym Październiku” już wspominałem. Spośród innych wydarzeń, o których piszemy, polecam teksty o tegorocznych noblistach oraz przedruki artykułów byłych Prezesów Państwowej Agencji Atomistyki, profesorów Jerzego Niewodniczańskiego i Michała Waligórskiego, opublikowane wcześniej w tygodniku „PAUza”.

Znany dziennikarz, popularyzator nauki Wiktor Niedzicki przedstawia na naszych łamach swoją nową książkę „Z kamerą wśród uczonych”, a Marek Bielski w swoim felietonie pisze pozytywnie o rodzimych ekspertach z zakresu energetyki jądrowej.

W dziale LISTY DO REDAKCJI udostępniamy Czytelnikom skierowane do nas teksty o wydzwieku polemicznym dr. Andrzeja Mikulskiego i Andrzeja Nawrockiego.

Praktycznie na ostatnich stronach – tym razem obszerniejszego numeru – publikujemy wspomnienie o zmarłym doktorze Ryszardzie Gokielim.

Na koniec jak co kwartał, moje życzenia. Życzę spokojnych, wesołych Świąt Bożego Narodzenia i jak najszybszego ustąpienia pandemii – koronawirusa!

Stanisław Latek,
redaktor naczelny

BADANIA TERMOJĄDROWE W POLSCE: CZEŚĆ 2

Thermonuclear Research in Poland: part 2

Monika Kubkowska, Andrzej Gałkowski

Streszczenie: Artykuł przedstawia przegląd badań w dziedzinie fuzji jądrowej, prowadzonych przez polskie jednostki naukowe. W szczególności opisane są zadania realizowane przez Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, będący koordynatorem badań i reprezentantem Polski w konsorcjum EUROfusion. Prace dotyczą zarówno prac doświadczalnych i udziału polskich naukowców w eksperymentach na układach typu tokamak czy stellarator, jak i modelowania zjawisk zachodzących w plazmie. Ponadto przedstawiono zaangażowanie w programie EUROfusion jednostek naukowych tworzących Centrum naukowo-przemysłowe Nowe Technologie Energetyczne (CeNTE). Zadania te dotyczą głównie fuzji z magnetycznym utrzymaniem, ale dotyczą także wsparcia naukowców od strony informatycznej, jak również badań socjo-ekonomicznych.

Abstract: The article presents an overview of research performed by Polish research units in the field of nuclear fusion. In particular, the tasks carried out by the Institute of Plasma Physics and Laser Microfusion, as the coordinator and Polish representative in the EUROfusion consortium, are described both in the part related to the magnetic and laser plasma confinement. The work covers experimental research and the participation of Polish scientists in experiments on tokamak or stellarator systems as well as modelling of plasma phenomena. Moreover, the involvement of the members of the Centre New Energy Technologies performing the EUROfusion tasks was presented. These tasks are mainly related to the magnetic fusion part but also are to support scientists from the IT side as well as socio-economic studies.

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

Fuzja jądrowa może, w przyszłości, przyczynić się do zaspokojenia rosnącego zapotrzebowania na energię, w sposób zrównoważony, bezpieczny i przyjazny dla środowiska. Program badań nad energetyką termojądrową realizowany jest w Europie i na całym świecie od wielu dekad. Obecnie najistotniejszy tego typu projekt związany jest z budową największego dotychczas eksperymentalnego reaktora opartego na fuzji, reaktora ITER (z łac. droga), którego celem jest zademonstrowanie syntezy jądrowej jako realnego i zrównoważonego źródła energii. Projekt jest przedsięwzięciem międzynarodowym; poza Unią Europejską zaangażowane są także Japonia, Stany Zjednoczone, Rosja, Chiny, Korea Południowa i Indie. Polskie jednostki prowadzą badania naukowe i technologiczne w ramach europejskiego programu fuzji termojądrowej Wspólnoty EURATOM. Koordynatorem jest europejskie Konsorcjum EUROfusion [www.euro-fusion.org]. Polska reprezentowana jest w Konsorcjum przez Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM), który koordynuje prace krajowe w ramach Centrum naukowo-przemysłowego Nowe Technologie Energetyczne (CeNTE) [www.cente.ifpilm.pl]. Centrum skupia potencjał badawczy z 17 instytucji naukowo-badawczych w kraju (stan na listopad 2020 r.).

Program EUROfusion ma dwa główne cele, zdefiniowane jako:

- przygotowanie eksperymentów i opracowanie scenariuszy pracy dla budowanego obecnie w Cadarache we Francji międzynarodowego reaktora ITER, oraz
- opracowanie koncepcji przyszłej demonstracyjnej elektrowni termojądrowej DEMO.

Ważnym aspektem programu EUROfusion jest także wspieranie kształcenia i szkolenia młodej kadry, za pośrednictwem programów badawczych i grantów inżynierskich.

Z drugiej strony działa w Europie agencja Fusion for Energy (F4E, <https://f4e.europa.eu>), której zadaniem jest wniesienie wkładu Wspólnoty EURATOM do Międzynarodowej Organizacji Energii Termojądrowej (ITER IO). Agencja F4E finansuje i organizuje udział Wspólnoty EURATOM we wspólnym, europejsko-japońskim przedsięwzięciu na rzecz rozwoju energetyki termojądrowej. Przedsięwzięcie jest znane pod nazwą Broader Approach i realizowane jest na terenie Japonii jako uzupełnienie projektu ITER. Ponadto agencja F4E uczestniczy w przygotowaniu i koordynacji działań mających na celu opracowanie koncepcji budowy demonstracyjnego reaktora termojądrowego DEMO, a także koncepcji powiązanych obiektów, w tym urzą-

dzenia IFMIF (z ang. International Fusion Materials Irradiation Facility).

Europejskie konsorcjum EUROfusion opracowało (stale aktualizowaną) mapę drogową fuzji jądrowej, w której zdefiniowane zostały tzw. misje mające doprowadzić do uzyskania energii elektrycznej z fuzji. W pracach związanych z misjami Mapy Drogowej Fuzji Jądrowej (MDFJ) mają swój udział naukowcy z Polski. Prace realizowane przez polskie jednostki naukowe dotyczą m.in. udziału w eksperymentach na działających urządzeniach fuzyjnych (JET, ASDEX Upgrade, W7-X itp.), rozwoju diagnostyk plazmy i produktów fuzji jądrowej, jak również modelowania i symulacji zjawisk zachodzących w plazmie.

Udział Instytutu Fizyki Plazmy i Laserowej Mikro-syntezy

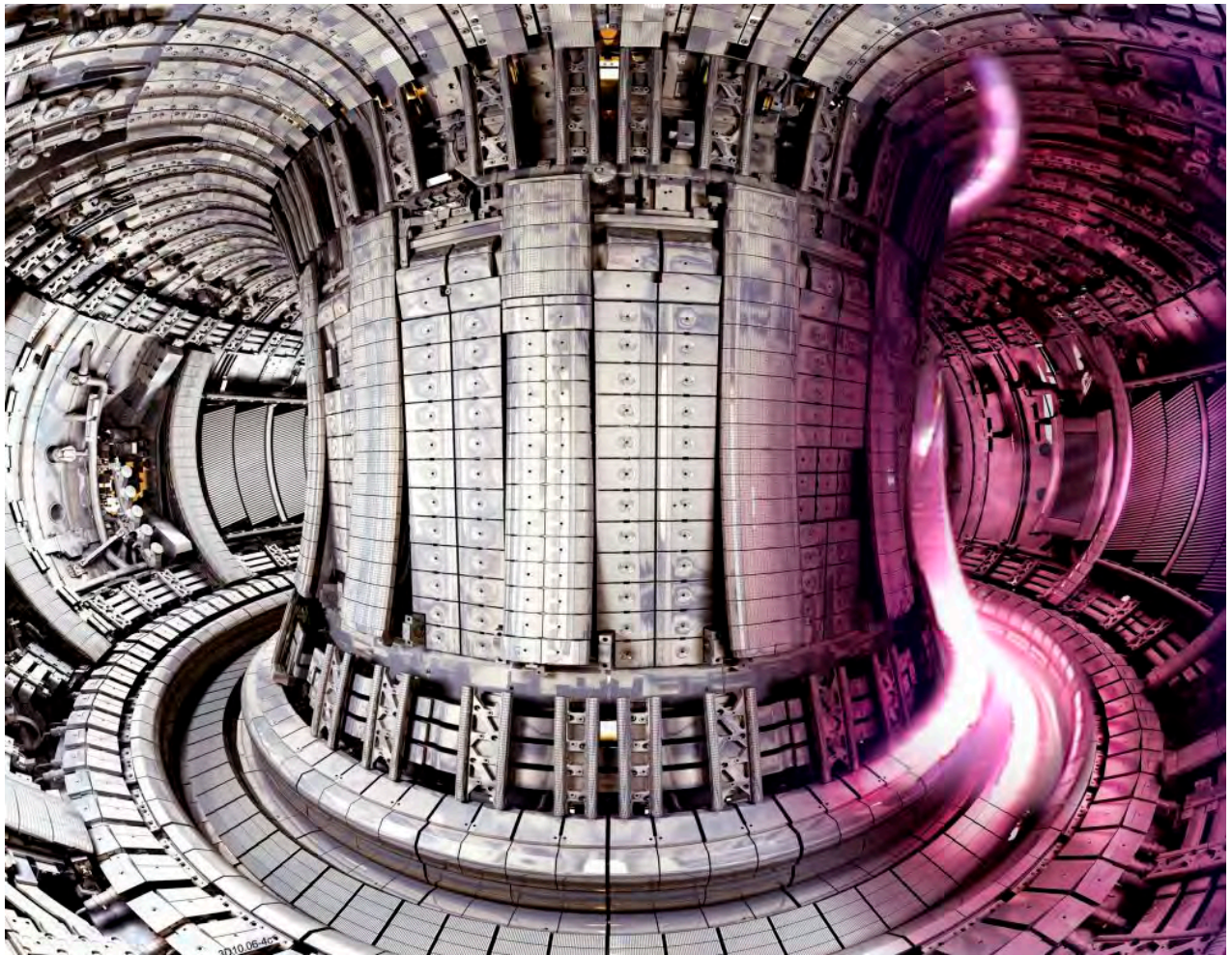
Powstanie, w roku 2005, polskiej Asocjacji EURATOM-IFPILM (związane z wejściem Polski rok wcześniej do Wspólnoty EURATOM) otworzyło przed naukowcami z kraju możliwości rozwijania kompetencji w dziedzinie badań nad syntezą termojądrową. Udział w międzynarodowych eksperymentach pozwolił zdobyć doświadczenie, a także poznać możliwości oraz potrzeby prowadzonych badań.

Celem badań, prowadzonych obecnie na największym działającym obecnie tokamaku na świecie, tokamaku JET, jest opracowanie scenariuszy operacyjnych na rzecz przyszłej kampanii deuterowo-trytowej (DT). W szczególności ma to służyć optymalizacji działania urządzeń termojądrowych kolejnej generacji, takich jak ITER — eksperymentalny reaktor budowany w Cadarache we Francji, czy DEMO — pierwsza prototypowa elektrownia termojądrowa. Oszacowania prowadzone dla tokamaka ITER pokazują, że bilans energetycznego zysku z fuzji powinien być na poziomie $Q \geq 10$ (przy 50 MW dostarczonej mocy, wytworzona zostanie moc na poziomie 500 MW w wyładowaniu trwającym 400-600 s). Znaczna część czasu eksperymentalnego w JET poświęcona jest na przygotowanie scenariusza podstawowego (ang. baseline scenario) oraz scenariusza hybrydowego (ang. hybrid scenario), w celu uzyskania podczas kampanii DT 10-15 MW mocy z fuzji w stanie stacjonarnym trwającym ok. 5 s. Scenariusze opracowane w JET mają być kompatybilne z materiałami pierwszej ściany w reaktorze ITER. Ściana wewnętrzna tokamaka JET pokryta jest berylem, a dywertyor wykonany jest z wolframu; są to te same materiały, jakie przewidziane są dla ITER-a. Głównym wyzwaniem jest w związku z tym zapewnienie stabilności wyładowania plazmy, w tym dobrego utrzymania plazmy przy zastosowaniu pełnej mocy dodatkowego grzania i ograniczeniach wynikających z użycia dywertyora wolframowego. Wolfram jest pier-

wiastkiem o dużej liczbie atomowej $Z (=74)$, powoduje więc straty radiacyjne w plazmie, a tym samym jej wychładzanie. Akumulacja zanieczyszczeń (w tym wolframu) może prowadzić do słabego utrzymania plazmy, a nawet do zerwania sznura plazmowego. W związku z powyższym kontrola zachowania wolframu (i innych zanieczyszczeń) w plazmie oraz opracowanie zintegrowanych metod do utrzymania koncentracji domieszek na niskim poziomie ma ogromne znaczenie dla osiągnięcia wysokiej wydajności energetycznej syntezy termojądrowej.

Naukowcy z Polski od lat prowadzą prace związane z badaniem zachowania zanieczyszczeń w plazmie, na tokamaku JET i na mniejszych urządzeniach, poprzez analizy danych ze spektrometrów promieniowania ultrafioletowego oraz miękkiego promieniowania rentgenowskiego. Na podstawie linii widmowych wyznaczana jest koncentracja metalicznych domieszek, takich jak wolfram, nikiel, żelazo, miedź czy molibden. Z kolei analiza sygnałów z kamer miękkiego promieniowania rentgenowskiego umożliwia wyznaczenie profili koncentracji zanieczyszczeń oraz uzyskanie dwuwymiarowych rekonstrukcji mocy promieniowania z plazmy.

W celu kontroli gęstości plazmy stosuje się, między innymi, wstrzykiwanie do komory próżniowej zamrożonych granulek, tzw. pelletów, wykonanych z wodoru lub jego izotopów. Pellety mogą być również wykorzystywane do zwiększenia częstotliwości lokalnych modów brzegowych, tzw. ELM-ów (z ang. edge localized modes). W dzisiejszych urządzeniach z metalicznymi elementami wewnętrznymi wymagana jest duża częstotliwość ELM-ów po to, aby wzmocnić usuwanie zanieczyszczeń z plazmy, a tym samym zapobiec ich akumulacji. Tym tematem zajmują się również naukowcy z IFPILM, a wyniki ich badań służą następnie do walidacji kodów numerycznych służących do modelowania plazmy brzegowej, co wspomaga planowanie wyładowań plazmy i przygotowanie JET-a do kampanii deuterowo-trytowej. Do symulacji numerycznych wykorzystywany jest nieliniowy trójwymiarowy kod magnetohydrodynamiczny (MHD). Celem jest zidentyfikowanie najbardziej niestabilnych modów MHD, prowadzących do generacji i ewolucji ELMów. Ma to znaczenie dla kontroli i minimalizacji strumieni ciepła wydzielanych podczas takich niestabilności, co jest kluczowe dla pracy urządzeń fuzyjnych. Warto dodać, że eksperymenty prowadzone na średnich tokamakach, takich jak ASDEX-Upgrade (Garching, Niemcy), czy TCV (Lozanna, Szwajcaria), mają również ogromne znaczenie dla badań fuzyjnych i stanowią uzupełnienie badań prowadzonych na tokamaku JET. Urządzenia te mają unikalne możliwości eksperymentalne; celem prowadzonych badań jest



Fot.1. Wnętrze tokamaka JET z widoczną po prawej stronie plazmą (fot. CCFE, JET)
Photo 1. Tokamak JET inside with visible plasma on the right (Photo: CCFE, JET)

zapewnienie efektywnego wykorzystania doświadczeń i ekstrapolacja wyników do przyszłych urządzeń termojądrowych, takich jak ITER czy DEMO. Prowadzone badania obejmują warunki i reżimy, w których średniej wielkości tokamaki mają wyjątkowe możliwości eksperymentalne.

Prace dotyczące analiz danych eksperymentalnych, kalibracji i opracowania nowych diagnostyk oraz modelowania plazmy są głównymi tematami podejmowanymi przez polskie zespoły. Przeprowadzone obliczenia numeryczne umożliwiają weryfikację poprawności modeli transportu plazmy zastosowanych w symulacjach oraz umożliwiają określenie wpływu domieszkowania na parametry plazmy. Naukowcy z IFPiLM od lat uczestniczą w pracach związanych z symulacją różnych scenariuszy plazmy w kontekście reaktorów ITER i DEMO. Do otwartych kwestii należy wciąż zagadnienie dopuszczalnego strumienia mocy docierającej do płyty dywertora. Głównym kandydatem na materiał, z którego byłaby zbudowana płyta dywertora jest wolfram, który będzie zastosowany

w ITERze. Wynika to głównie z wysokiej temperatury topnienia tego metalu oraz jego zdolności do tworzenia związków z pierwiastkami wchodzącymi w skład plazmy. Obecnie prowadzone są również badania nad zastosowaniem ciekłych metali jako materiału pokrywającego płytę dywertora. W tym wypadku rozważa się użycie litu, cyny lub stopu litu z cyną. W ostatnich latach w IFPiLM został rozwinięty numeryczny model ciekłego dywertora. Modelowanie reaktora DEMO z dywertorem pokrytym warstwą ciekłego litu wykazało redukcję mocy do płyty dywertora poprzez rozcieńczenie paliwa jądrowej w rdzeniu przez jony litu, a następnie poprzez rozproszenie części energii na skutek promieniowania w warstwie brzegowej. Redukcja mocy docierającej do dywertora przekłada się jednak na zmniejszenie (nawet trzykrotne) mocy reaktora w porównaniu do przewidywań dla reaktora z dywertorem wolframowym. W związku z tym prowadzone są prace nad domieszkowaniem plazmy np. kryptonem, co, jak pokazują wyniki symulacji, może mieć korzystny wpływ na pracę reaktora z ciekłym dywertorem.

Naukowcy z IFPiLM we współpracy z IFJ PAN mają swój udział w kalibracji diagnostyk neutronowych tokamaka JET, wykonanej za pomocą generatora neutronów o energii 14 MeV, której celem było wyznaczenie współczynników kalibracyjnych dla komór rozszczepieniowych oraz współczynników aktywacyjnych dla aluminium, oraz niobu. Uzyskane wyniki zostaną zweryfikowane podczas kampanii deuterowo-trytowej. Naukowcy z IFPiLM rozwijają również metodę aktywacyjną, która stosowana jest do charakterystyki różnych źródeł neutronów, w tym właśnie do generatora neutronów o energii 14 MeV użytego na JET. Polega ona na przygotowaniu odpowiednich kapsuł zawierających folie wykonane z różnych materiałów, które po umieszczeniu blisko źródła neutronów ulegają napromienieniu. Następnie mierzone jest promieniowanie aktywowanych próbek, które, w połączeniu z obliczeniami numerycznymi, świadczy o wydajności emisji neutronów.

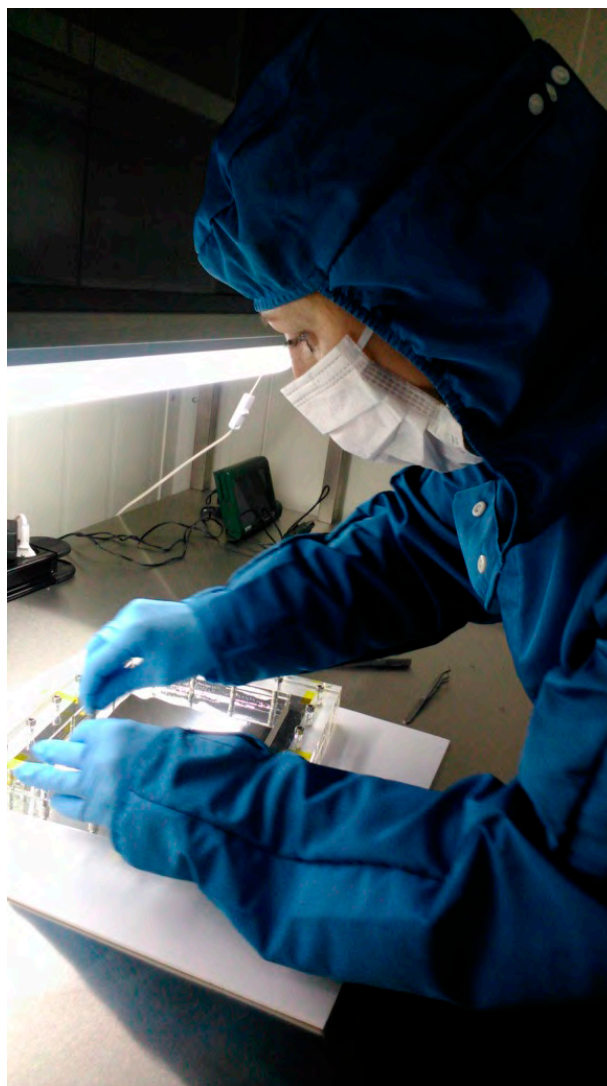
Poprzez uczestnictwo w projekcie W7-X polscy naukowcy stali się częścią międzynarodowej społeczności stellaratorowej, dzięki której zdobywają wiedzę i doświadczenie. Koncepcja stellaratora jako reaktora termojądrowego wciąż pozostaje do rozważenia, a kolejne kampanie eksperymentalne na W7-X służą optymalizacji pracy tego urządzenia.

Poza udziałem w badaniach na europejskich urządzeniach naukowcy z IFPiLM biorą czynny udział w kampanii eksperymentalnej na stellaratorze LHD (Large Helical Device) znajdującym się w Narodowym Instytucie Badań Termojądrowych (National Institute for Fusion Studies – NIFS) w Japonii. Jest to drugie po W7-X urządzenie wykorzystujące cewki nadprzewodnikowe, w tym wypadku w konfiguracji heliotronowej pola magnetycznego, odmiennej od konfiguracji pola magnetycznego w W7-X. Udział polskich naukowców związany jest z badaniem zachowania zanieczyszczeń plazmy (specjalnie wstrzykiwanych) w różnych warunkach eksperymentalnych.

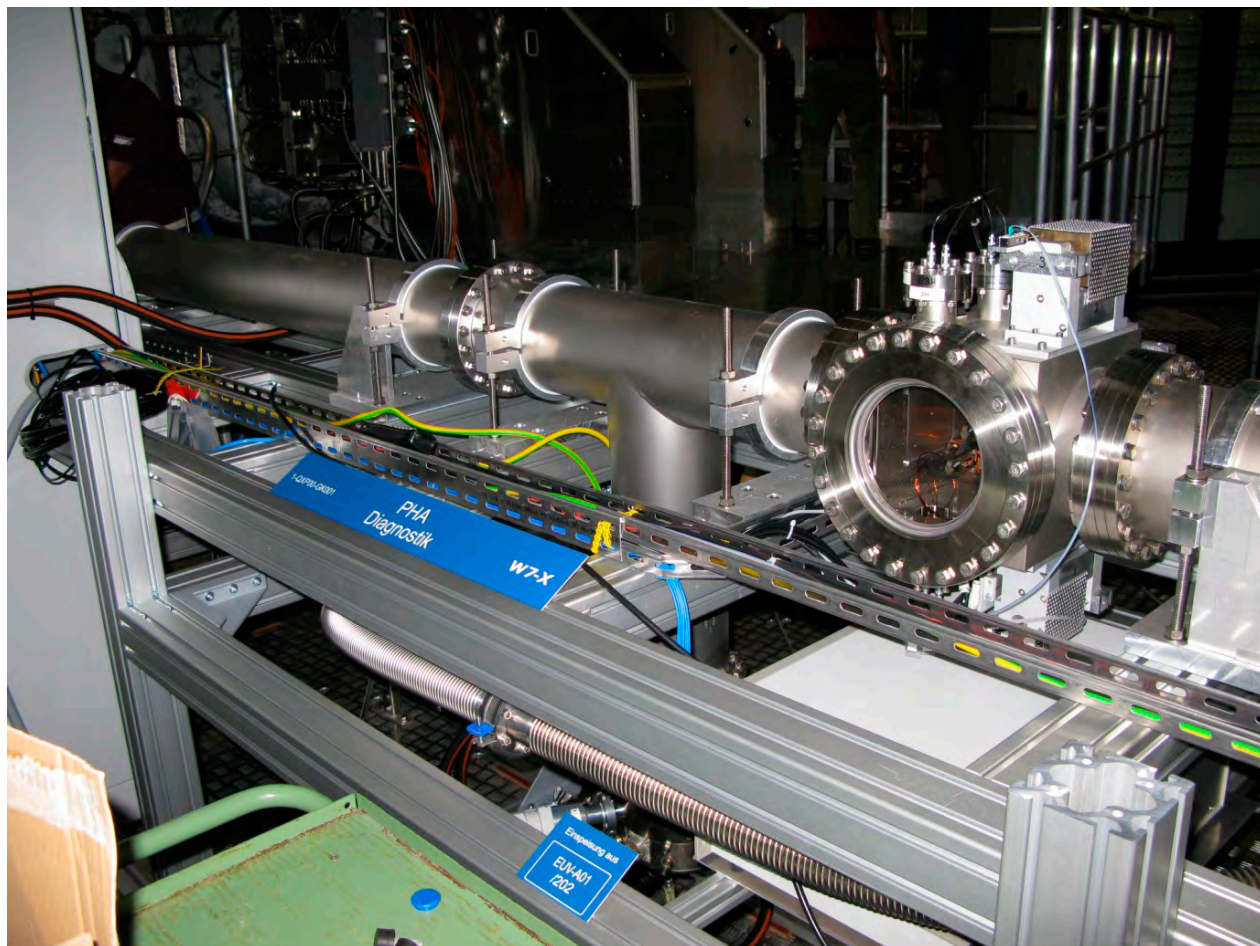
Innym urządzeniem, w którego prace zaangażowani są pracownicy IFPiLM, jest japoński tokamak JT-60SA z cewkami nadprzewodnikowymi. Program badań na JT-60SA ma za zadanie uzupełnić w sposób komplementarny program badawczy tokamaka ITER. Tokamak JT-60SA będzie oddany do użytku wcześniej niż ITER, co pomoże w rozstrzygnięciu kilku kwestii techniczno-projektowych ITERa. Projekt powstający we współpracy Japonii i Unii Europejskiej jest obecnie na etapie finalizowania i sprawdzania podsystemów. Konstrukcja została zakończona w 2020 r., a wkrótce oczekiwana jest pierwsza plazma. Udział IFPiLM w tym programie polega na analizie różnych scenariuszy pracy JT-60SA poprzez przeprowadzenie symula-

cji numerycznych dostarczających informacji o mocy całkowitego promieniowania w centrum plazmy, jak również o mocy docierającej do dywertora przy różnym domieszkowaniu – w tym przypadku rozważany jest zarówno dywertor węglowy, jak i wolframowy. Od dwóch lat grupa naukowców z Polski ma również swój udział w opracowaniu spektrometru promieniowania ultrafioletowego dla dywertora tokamaka JT-60SA. Zadania dotyczą przygotowania generalnej koncepcji spektrometru, jak również szczegółów dotyczących wyboru systemu pompującego dla uzyskania odpowiedniej próżni w komorze spektrometru oraz doborze odpowiedniego detektora.

W badaniach nad rozwojem energetyki termojądrowej istotnym tematem są również oddziaływania plazmy z elementami wewnętrznymi komory reaktora. Warstwa kodepozytu gromadzącego się na powierzchni ścianek zawiera materiał odparowa-



Fot.2. Montaż GEM (fot. IPFiLM)
Photo 2. GEM assembly



Fot.3. Komora PHA
Photo 3. PHA chamber

ny z elementów wewnętrznych urządzenia w czasie wyładowań plazmowych, osadzony wtórnie w różnych miejscach komory. W skład tej warstwy, oprócz podstawowego materiału ścianek komory plazmowej (węgiel, wolfram lub beryl), wchodzi domieszki (zanieczyszczenia) innych materiałów pochodzących z elementów układów pomiarowych np. z anten dostarczających wiązkę mikrofal do dodatkowego grzania plazmy. Warstwa kodepozytu zawiera



Fot.4. Wnętrze stellaratora LHD, NIFS
Photo 4. Stellarator LHD inside, NIFS

też zabsorbowane paliwo termojądrowe — deuter czy w przyszłości mieszaninę deuteru i trytu. Izotopy wodoru nie mogą gromadzić się w warstwie kodepozytu nieograniczenie; powinny być monitorowane oraz usuwane. IFPiLM od lat uczestniczy w pracach mających na celu opracowanie diagnostyki do badania retencji izotopów wodoru oraz depozycji materiałów na wewnętrznej powierzchni reaktorów termojądrowych. Jedną z proponowanych metod jest metoda analizy chemicznej z wykorzystaniem laserowej spektroskopii wzbudzeniowej LIBS (z ang. *Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*). W 2019 r. na tokamaku FTU (Frascati Tokamak Upgrade) zlokalizowanym we Włoszech przeprowadzono eksperyment demonstrujący wykorzystanie metody LIBS w wariacie dwuimpulsowym.

Badania nad energetyką termojądrową prowadzone w IFPiLM związane są w dużej mierze z rozwojem koncepcji reaktora z magnetycznym utrzymaniem plazmy. Jednak część naukowców prowadzi również badania mające znaczenie dla rozwoju koncepcji z inercyjnym utrzymaniem plazmy, a więc z wykorzystaniem impulsów laserowych. W tym wariacie

energia jest produkowana w krótkotrwałych eksplozjach paliwa termojądrowego skupionego w kulistej kapsule i ściśniętego do bardzo dużych gęstości pod działaniem promieniowania laserowego (metoda bezpośrednia) lub promieniowania rentgenowskiego wytworzonego przez laser (metoda pośrednia). Metoda bezpośredniego naświetlania paliwa impulsami laserowymi wymaga zapewnienia bardzo wysokiej symetrii kompresji oraz użycia lasera o bardzo dużej energii, dlatego też obecnie badane są inne warianty fuzji laserowej. Jednym z nich jest szybki zapłon jonowy. W IFPiLM opracowany został zaawansowany, wielowymiarowy kod komputerowy typu 'particle in cell', który umożliwi przeprowadzenie symulacji procesu laserowej akceleracji jonów różnych elementów oraz różnorodnych charakterystyk generowanych wiązek jonowych.

Innym tematem realizowanym w IFPiLM są badania plazmy ablacyjnej wraz z emisją elektronów i jonów, jak również pomiary silnych impulsów elektromagnetycznych generowanych podczas oddziaływania impulsów laserowych z tarczą. Eksperymenty te przeprowadzane są na układzie PALS w Pradze oraz w Laboratorium Laserów Wielkiej Mocy w IFPiLM. Planowane są eksperymenty z użyciem lasera Vulcan w Wielkiej Brytanii (Rutherford-Appleton Laboratory).

Udział jednostek CeNTE w badaniach termojądrowych

Poprzez członkostwo w Asocjacji-EURATOM, w latach 2005-2013, a od roku 2014 w Centrum Nowe Technologie Energetyczne (CeNTE) polskie jednostki naukowe uczestniczą w programie konsorcjum EUROfusion, realizując zadania zgodne z europejską mapą drogową fuzji.

Na tokamaku JET naukowcy z Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) prowadzą badania spektroskopowych widm rentgenowskich, wyznaczając koncentrację zanieczyszczeń plazmy oraz temperaturę jonową. Parametry te mają znaczenie w ocenie pracy urządzenia, jak również w badaniach zachowania się zanieczyszczeń w plazmie. Ponadto pracownicy NCBJ mają również swój udział w modernizacji kamery oraz spektrometru promieniowania gamma, który działa w oparciu o scyntylator z bromkiem lantanu aktywowanym cerem, wraz z dedykowaną elektroniką i oprogramowaniem.

Naukowcy z Uniwersytetu Opolskiego (UO) uczestniczą z kolei w kalibracji spektrometrów promieniowania VUV na JET, co ma istotne znaczenie przy wyznaczaniu podstawowych parametrów plazmy. Ponadto biorą udział w badaniach widm molekularnych,

co z kolei ma znaczenie zarówno dla analizy mechanizmów erozji ściany, jak i dla badań transportu domieszek w plazmie.

Instytut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN) obecny jest na układzie JET poprzez udział pracowników w prace nad charakterystyką i rozkładem cząstek alfa dla różnych scenariuszy plazmy oraz w zadaniach związanych z pomiarami strumieni neutronów i aktywacji komponentów tokamaka. Na JET zainstalowane są, dostarczone przez IFJ PAN, detektory termoluminescencyjne rozmieszczone wewnątrz i na zewnątrz pomieszczenia, w którym znajduje się urządzenie. Służą one do pomiarów neutronowych, a wyniki tych pomiarów są porównywane z rezultatami symulacji.

Akademia Morska w Szczecinie (AM) ma z kolei swój udział w rozwoju modeli wykorzystywanych w kodach równowagi plazmy wykorzystujących pomiary polarymetryczne na JET.

Tokamak JET, ze względu na swoją budowę i wykorzystanie materiałów przewidzianych do budowy reaktora ITER, ma duże znaczenie dla badań materiałowych. Pracownicy Politechniki Warszawskiej (PW) od lat zaangażowani są w prace nad badaniem pyłu osiadającego na elementach wewnętrznych komory, jego morfologii, składu, wielkości, lokalizacji oraz



Fot. 5. Zdjęcie z szybkiej kamery obrazujące odpadające elementy komory w wyniku oddziaływania z szybkimi elektronami na Tore Supra, A. Loarte ITER (<https://www.ugent.be/ea/appliedphysics/en/research/fusion/research/data-analysis.htm>)

Photo 5. Image of plasma-facing components moving into the plasma due to interaction with runaway electrons at Tore Supra tokamak, A. Loarte ITER (<https://www.ugent.be/ea/appliedphysics/en/research/fusion/research/data-analysis.htm>)



Fot. 6. Obszar budowy reaktora ITER, stan na 27 maja 2020. (fot. ITER Organization, EJF Riche)
Photo 6. The ITER reactor construction area, as of May 27, 2020 (Photo: ITER Organization, EJF Riche)

ilości. Ma to znaczenie dla poprawnego działania samego urządzenia, ale też dla działania diagnostyk. Badania luster stosowanych w systemach pomiarowych również wykazują pokrycie materiałem ze ściany tokamaka, a zmodyfikowana w ten sposób powierzchnia może zaburzać sygnały mierzone z plazmy. Elementy konstrukcyjne reaktora termojądrowego narażone są na oddziaływanie z plazmą, a co za tym idzie na obciążenia termiczne oraz strumienie neutronów. Powoduje to zmiany powierzchni materiału, jego degradację, a więc zmiany pierwotnych właściwości. Wyposażenie laboratoriów PW w wysoko wykwalifikowany sprzęt do pomiarów materiałowych umożliwia badania laboratoryjne różnych materiałów, symulacje warunków istniejących w reaktorze i badania defektów powstających w rozważanych materiałach.

Polskie jednostki mają również znaczący udział w eksperymentach prowadzonych na mniejszych tokamakach. Na układzie ASDEX Upgrade naukowcy z IFJ i UO uczestniczą w badaniu zachowania zanieczyszczeń plazmy w różnych warunkach. Na drodze wprowadzania do plazmy kapsulek z azotem lub pierwiastków odparowanych laserowo przez system LBO (z ang. laser blow-off) badany był transport wolframu oraz tworzenie molekuł i ich wpływ na zachowanie plazmy. Podobnie na tokamaku TCV – naukowcy z IFJ PAN uczestniczą w eksperymentach mających na celu

badanie obserwowanej asymetrii miękkiego promieniowania rentgenowskiego, spowodowanej dodatkowym grzaniem plazmy. Na czeskim tokamaku COMPASS, a wcześniej na portugalskim ISTTOK i włoskim FTU, pracownicy NCBJ testowali detektory promieniowania Cherenkova, jako diagnostykę do pomiarów szybkich elektronów w plazmie. Detektory te korzystają z diamentowej głowicy i mogą składać się z kilku kanałów, co umożliwi pomiary w różnych zakresach energetycznych. Badania elektronów nadtermicznych są bardzo istotne, ponieważ takie elektrony mogą nawet doprowadzić do uszkodzenia komory reaktora, co miało miejsce w przeszłości na tokamaku Tore Supra we Francji (obecnie urządzenie to jest przekształcane w tokamak WEST (z ang. W (tungsten) Environment in Steady-state Tokamak).

Wartym podkreślenia jest wkład Polski do powstania stellaratora Wendelstein 7-X. Inżynierowie i technicy z IFJ PAN brali udział przy budowie urządzenia, natomiast Narodowe Centrum Badań Jądrowych miało swój wkład w budowę komponentów iniektora atomów. Obecnie udział Polski w programie W7-X dotyczy rozwoju diagnostyk miękkiego promieniowania rentgenowskiego, w czym – obok IFPiLM – uczestniczy również UO. Naukowcy z tych jednostek biorą udział w kampaniach eksperymentalnych obsługujących zaprojektowane i zbudowane przez siebie systemy,

jak również analizują wyniki badań w kontekście optymalizacji pracy urządzenia. Samo urządzenie zostało uruchomione stosunkowo niedawno, bo pod koniec 2015 r., i w związku z tym nadal część diagnostyk wymaga ujednoczonego systemu akwizycji. Naukowcy z Politechniki Łódzkiej (PŁ) mają swój udział w projekcie przygotowania ogólnego systemu akwizycji oraz oprogramowania, które pozwoli na szybką integrację wybranych kamer na W7-X.

W badaniach nad energetyką termojądrową bardzo istotne jest wsparcie od strony technik informatycznych, obok prac eksperymentalnych, inżynierskich i technicznych. Poznańskie Centrum Superkomputerowo-Sieciowe (PCSS) – centrum naukowo-badawcze afiliowane przy Instytucie Chemii Bioorganicznej PAN – należy do zespołu konsorcjum EUROfusion, wspierającego naukowców tworzących kody numeryczne; wsparcie to dotyczy przystosowania kodów do standardów wymaganych dla ITER-a.

Poza pracami na rzecz ITER-a Centrum NTE ma również swój udział w opracowaniu koncepcji przyszłej demonstracyjnej elektrowni termojądrowej DEMO. Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie (ZUT) uczestniczy w zadaniu mającym na celu opracowanie systemu do odprowadzania ciepła z reaktora. Naukowcy ZUT opracowali model obiegu parowo-wodnego dla elektrowni oraz badają jego pracę w warunkach nominalnych i przy zredukowanej mocy grzewczej, co ma znaczenie dla przyszłych konstruktorów DEMO. Dodatkowo ZUT uczestniczy w pracach nad analizą ciepłno-hydrauliczną uzwojenia zaprojektowanego dla cewek magnetycznych reaktora.

DEMO to program, w ramach którego rozwój nowych materiałów jest jednym z kluczowych zadań (materiały te będą narażone na wysokie strumienie neutronów). W celu pomiaru odporności i zmian właściwości materiałów napromieniowanych neutronami o energii 14 MeV, które są produktami najbardziej wydajnej reakcji deuter-tryt, planowana jest budowa urządzenia IFMIF (z ang. International Fusion Materials Irradiation Facility) w Japonii oraz urządzenia DONES (z ang. DEMO-Oriented Neutron Source) w Europie. Obydwa urządzenia będą stanowiły unikalne źródła neutronów o parametrach występujących w przyszłych reaktorach termojądrowych. W zadania związane z tymi projektami, w szczególności z projektem DONES, zaangażowani są naukowcy z IFJ PAN, NCBJ, PW oraz IFPiLM. Prace dotyczą analiz jądrowych służących określeniu parametrów projektowanego źródła, jego optymalizacji oraz przygotowaniu wstępnych projektów niektórych modułów urządzenia. Projekt DONES jest obecnie w fazie przygotowań, rozpoczę-

cie budowy samego laboratorium powinno nastąpić w 2022 r.

Na zakończenie warto dodać, że Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu (UMK) realizuje z kolei prace socjo-ekonomiczne związane z fuzją, poprzez identyfikację ekonomicznych i społecznych warunków sprzyjających rozwojowi badań nad energetyką termojądrową. Wnioski z prowadzonych analiz i badań opinii publicznej pokazują, jak efektywnie wspierać szerokie zastosowanie fuzji w przyszłym globalnym rynku energii.

Podsumowanie

Badania nad kontrolowaną syntezą jądrową realizowane są w Polsce w wielu ośrodkach naukowych. Część jednostek, członków Centrum naukowo-przemysłowego Nowe Technologie Energetyczne, prowadzi projekty związane z europejską mapą drogową fuzji, uczestnicząc w projektach konsorcjum EUROfusion, inne realizują niezależnie kontrakty badawcze zlecane bezpośrednio przez Organizację ITER (na przykład Politechnika Łódzka), czy też przez agencję F4E, (IFJ PAN i Politechnika Wroclawska). Przekrój prowadzonych prac obejmuje szereg różnych dziedzin nauki – od fizyki, chemii, energetyki, poprzez inżynierię materiałową, aż po elektronikę. W Polsce nie ma urządzenia fuzyjnego, duża więc część doświadczenia zdobywana jest za granicą, poprzez uczestnictwo w eksperymentach na działających tokamakach czy stellaratorach. Opanowanie technologii energetyki termojądrowej będzie niewątpliwie przełomowym wydarzeniem dla całego świata, warto więc wiedzieć, że także Polska będzie miała w tym swój udział.

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

CO JEST PRZYCZYNĄ BIAŁACZEK U DZIECI MIESZKAJĄCYCH W POBLIŻU ELEKTROWNI JĄDROWYCH?¹

On the origin of leukaemia clusters in children living around nuclear power plants

Marek K. Janiak

Streszczenie: W latach 80. XX w. pojawiły się doniesienia o występowaniu skupisk (ang. clusters) zachorowań na białaczkę u dzieci mieszkających w pobliżu elektrowni atomowych i innych obiektów jądrowych. Niniejszy artykuł dokonuje przeglądu takich skupisk występujących w Niemczech, W. Brytanii, Francji i innych krajach i analizuje potencjalny związek między promieniowaniem emitowanym przez obiekty jądrowe a zachorowaniami na białaczkę. Ponieważ wykazano, że poziom promieniowania jonizującego na terenach wokół elektrowni i innych instalacji jądrowych nie stanowi zagrożenia dla zdrowia i życia mieszkających w pobliżu ludzi, najbardziej prawdopodobną przyczyną okazał się brak wystarczającej odporności u dzieci tych mieszkańców na wirusy i inne patogeny pojawiające na terenach budowy zakładów jądrowych wraz z napływającymi z odległych miejsc nowymi pracownikami tych zakładów.

Abstract: A few reports of increased numbers of leukaemia cases (clusters) in children living in the vicinity of nuclear power plants (NPPs) and other nuclear installations have triggered a debate over the possible causes of the morbidity. In this review the most important cases of such clusters are described and analyzed with emphasis on the relationship between the environmental exposure to ionizing radiation and the risk of leukaemia. Since, as indicated, a lifetime residency in the proximity of an NPP does not pose any specific health risk to people and the emitted ionizing radiation is too small to cause cancer, a number of hypotheses have been proposed to explain the childhood leukaemia clusters. The most likely explanation is the so called 'population mixing', i.e., the influx of outside workers to rural regions where nuclear installations are being set up and where local people are not immune to viruses and other pathogens brought along with the incomers.

Słowa kluczowe: skupiska białaczki dziecięcej, elektrownie jądrowe, promieniowanie jonizujące

Keywords: childhood leukaemia; ionizing radiation exposure; nuclear installations

[30] Pracownicy elektrowni jądrowej (EJ) oraz, w mniejszym stopniu, okoliczna ludność ekspozycja są na działanie uwalnianego z reaktora atomowego elektromagnetycznego promieniowania gamma, różnych emiterów beta i gamma (jakich jak Ar-41, C-14, Co-60, Cs-134 and Cs-137, H-3, I-131, Ir-192, Xe-133 i Xe-135), które wydostają się przez kominy (tzw. *stack emissions*), a także niejonizujących pól elektromagnetycznych generowanych przez linie przesyłowe wysokiego napięcia znajdujące się wokół każdej EJ. Jak wiadomo, pochłonięcie odpowiednio wysokich dawek promieniowania jonizującego (alfa, beta i gamma) może prowadzić do rozwoju nowotworów [Burkart i wsp. 1997; Tubiana 2000; UNSCEAR 2000, 2008]. Jednym z najbardziej typowych nowotworów popromiennych, które pojawiają się najszybciej (już po ok. 2 latach) po ekspozycji na promieniowanie, są białaczki (wyjątkiem jest tzw. przewlekła białaczka limfatyczna) [Doll i Wakeford 1997; UNSCEAR 2000; BEIR VII 2006;

Rossig i Juergens 2008]. Są także dane wskazujące, że pola magnetyczne o bardzo niskich częstotliwościach, jakie występują przy generacji i przesyłaniu prądu elektrycznego, mogą wywoływać białaczki u dzieci [WHO 2002].

Dawka promieniowania jonizującego uwalnianego z EJ w ciągu roku wynosi od 0,0001 do 0,007 mSv [Strupczewski 2010; Lane i wsp. 2013], co stanowi znikomą część średniej rocznej dawki promieniowania naturalnego (1-3 mSv/rok) pochłanianego przez człowieka na Ziemi. Pomimo tego, istnieje przekonanie, podsypane przez różne grupy tzw. ekologów, a także – niestety – niektórych naukowców, że dłuższe przebywanie w pobliżu EJ może być przyczyną różnych chorób, a nawet śmierci [Nussbaum 2009; Fairlie i Körblein 2010; Fairlie 2013].

Produkcja energii w elektrowniach atomowych wzbudzała obawy społeczne od czasu uruchomienia w latach 50. XX w. pierwszych EJ w USA, ZSRR i W. Brytanii. Problem wpływu tych elektrowni na zdrowie ludzi, szczególnie na rozwój nowotworów

¹ Artykuł jest autorską wersją publikacji w języku angielskim: Janiak M.K. *Epidemiological evidence of childhood leukaemia around nuclear power plants*, Dose Response 12(3): 349-364, 2014. doi: 10.2203/dose-response.14-005.Janiak.

złośliwych, zaczął być analizowany jednak dopiero w latach 80. XX w. [Black 1984]. W roku 1983 reporterzy telewizji w Yorkshire (W. Brytania) donieśli o siedmiu przypadkach białaczki wykrytej u ludzi poniżej 25 lat, którzy od roku 1955 mieszkali w Seascale, miasteczku w Cumbrii oddalonym o ok. 5 km od Sellafield — głównego brytyjskiego ośrodka przerobu i magazynowania paliwa jądrowego [Cutler 1983]. Wykrycie tego znanego wkrótce jako „ognisko w Seascale” (*Seascale cluster*) stało się sensacją, ponieważ – według dotychczasowych statystyk – w tym czasie liczba nowo wykrytych zachorowań na białaczkę wśród młodych ludzi nie powinna przekroczyć jedności [Urquhart i wsp. 1984]. Niedługo potem, w Thurso, małym mieście na północnym wybrzeżu Szkocji, 12,5 km od działającej od połowy XX wieku EJ w Douneray, wykryto pięć przypadków białaczki u ludzi poniżej 24 roku życia (trzy z nich dotyczyły dzieci poniżej 4 roku życia [Heasman i wsp. 1986]. Trzecie doniesienie pochodziło z Niemiec, gdzie w na początku lat 1990. wykryto 5 przypadków ostrej białaczki u dzieci poniżej 10 roku życia, które w latach 1989-1996 mieszkaly na terenie gminy Elbmarsch w promieniu ok. 5 km od EJ w Krümmel (*Kernkraftwerk Krümmel*, KKK), wykorzystującej największy wówczas na świecie reaktor wrzący (*boiling reactor*) ulokowany na łabie ok. 35 km na wschód od Hamburga [Hoffmann i wsp. 1997; Schmitz-Feuerhake i wsp. 1997]. Hoffmann i współpracownicy przeanalizowali przypadki białaczek wykrywanych w latach 1990-2005 u dzieci mieszkających nie dalej niż 5 km od KKK, i stwierdzili statystycznie znamienny wzrost zachorowalności, szczególnie u dzieci poniżej 4 roku życia (SWZ = 4,9; CI = 2,4-9,0) [Hoffmann i wsp. 2007]. Schmitz-Feuerhake i jej współpracownicy zasugerowali, że wysoka zachorowalność dzieci na białaczkę w gminie Elbmarsch była wywołana przez radionuklidy uwolnione w czasie awarii instalacji jądrowej przylegającej do KKK, jaka wystąpiła w roku 1986 [Schmitz-Feuerhake i wsp. 2005]. Wcześniejszy nieco raport ekspertów z Komitetu Schleswig-Holstein także wskazywał, że promieniowanie emitowane w czasie tego wypadku mogło być przyczyną zwiększonej zachorowalności dzieci na białaczkę [Wassermann i wsp. 2004]. Jednakże, jak wykazali Hoffmann i współpracownicy, awaria instalacji jądrowej przylegającej do KKK, która nie mogła przejść niezauważona, nie była przedmiotem żadnych działań ze strony władz Dolnej Saksonii, gdzie znajduje się gmina Elbmarsch [Hoffmann i wsp. 2007]. Faktycznie, specjalna komisja powołana przez te władze stwierdziła, że w czasie normalnego funkcjonowania instalacji nuklearnych w Elbmarsch nie da się wykryć żadnego związku między zachorowaniami dzieci na białaczkę a emisją promieniowania jonizującego i że nie wszystkie lokalnie występujące czynniki ryzyka zachorowania zostały zidentyfikowane [Wichmann i Greiser 2004].

W roku 1990 publikacja w prestiżowym *British Medical Journal* informowała o wzroście zapadalności na białaczkę w regionie Nord Cotenin w Normandii: w latach 1978-1990 wykryto tam 23 przypadki zachorowań u ludzi, którzy nie przekroczyli 25. roku życia mieszkających w promieniu 35 km od trzeciego co do wielkości na świecie zakładu przerobu paliwa jądrowego w La Hague (SWZ = 2,99) i 3 przypadki zachorowań na białaczkę u młodych mieszkańców kantonu Flamanville, gdzie znajdowała się EJ [Viel i Richardson 1990]. Późniejsze analizy tych zachorowań wykazały jednak, że w większości przypadków ich zwiększona częstość nie była istotna statystycznie [Viel i wsp. 1993, 1995], z wyjątkiem zwiększenia liczby zachorowań na ostrą białaczkę limfocytową dzieci między 4. a 9. rokiem życia (SWZ = 6,38; CF: 1,32, 18,65) [Guizard i wsp. 2001].

Pomimo znanego faktu, że skupiska (klastry) białaczki dziecięcej występują w sposób przypadkowy w czasie i przestrzeni [Petridou i wsp. 1996; McNally i wsp. 2002; Bellec i wsp. 2006; Amin i wsp. 2010] wyżej wymienione doniesienia wzbudziły zrozumiane zaniepokojenie wśród lekarzy i ogółu społeczeństwa. Postanowiono więc bliżej przyjrzeć się tym zachorowaniom.

Raporty na temat białaczek diagnozowanych u dzieci z okolic instalacji jądrowych w Sellafield, Douneray i gminie Elbmarsch były wynikiem tzw. opisowych badań ekologicznych (geograficznych), które korelują występowanie jakiegoś czynnika ryzyka (w tym przypadku, ekspozycji na promieniowanie jonizujące) z potencjalnym skutkiem działania tego czynnika (w tym przypadku, zachorowaniem na białaczkę) w danym okresie na danym obszarze geograficznym. Wyniki badań ekologicznych umożliwiają stawianie hipotez badawczych (w tym przypadku, istnienia związku między działaniem promieniowania a zachorowaniem na białaczkę), ale nie pozwalają na wykrywanie zależności przyczynowo-skutkowych, ponieważ nie dostarczają informacji czy, w naszym przypadku, chorzy z wykrytą białaczką byli rzeczywiście wcześniej poddani działaniu promieniowania, a jeśli tak to w jakim stopniu [Jekel i wsp. 2001]. Zależność taką dokumentować mogą bardziej „wyrafinowane” analizy epidemiologiczne, takie jak badania „kohortowe” i badania typu „przypadek-kontrola” [Laurier i Bard 1999; Jekel i wsp. 2001]. Prawdopodobieństwo istnienia badanego związku między (potencjalną) przyczyną a obserwowanym skutkiem określają użyskiwane w tych badaniach wskaźniki, do których zaliczamy ryzyko względne (*relative risk*, RR^2), nadmia-

² **Ryzyko względne** (ang. *relative risk* lub *risk ratio*, *RR*) jest stosunkiem ryzyka (prawdopodobieństwa) zachorowania/zgonu w grupie osób eksponowanych na działanie czynnika ryzyka

rowe ryzyko względne (*excess relative risk*, ERR³) oraz iloraz szans (*odds ratio*, OR³), wraz z odpowiednio wyliczonymi przedziałami ufności (CI).

Dla określenia związku przyczynowo-skutkowego między działaniem promieniowania jonizującego a występowaniem chorób (przede wszystkim białaczek, ale także chłoniaków i innych nowotworów) w latach 90. XX w. opublikowano wyniki wielu badań analitycznych (kohortowych i/lub typu „przypadek kontrola”) przeprowadzonych na badanych populacjach w Anglii, Kanadzie, Francji, Niemczech i Szkocji [przegląd tych badań w: Michaelis i wsp. 1992; Laurier i Bard 1999]. Uzyskane wyniki nie były zgodne: niektóre sugerowały istnienie statystycznie znamiennego związku pomiędzy odległością od instalacji nuklearnej, w jakiej zamieszkiwały dzieci a wystąpieniem choroby, inne nie wykryły żadnej takiej zależności [Laurier i Bard 1999; Nussbaum 2009]. Niektórzy badacze analizujący „ognisko w Seascale”, zasugerowali, że białaczki te wynikały z pochłonięcia promieniowania przez ojców chorych dzieci w czasie ich pracy przy instalacjach nuklearnych przed narodzeniem się ich potomstwa [Gardner i wsp. 1990; Gardner 1991].

W tej sytuacji, rządy Francji, Niemiec i Wielkiej Brytanii poprosiły ekspertów o przeprowadzenie bardziej wnikliwych analiz. I tak, brytyjski Komitet COMARE (*Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment*) stwierdził w raporcie z 1996 r., że poziom promieniowania wokół Sellafield był co najmniej 200 razy za niski, aby doprowadzić do powstania „ogniska w Seascale” [COMARE 1996]. W późniejszym raporcie z roku 2006 Komitet COMARE zaznaczył, że białaczki dziecięce, szczególnie ostra białaczka limfocytowa, mają trudną do wyjaśnienia tendencję do tworzenia „kłastrów” w czasie i przestrzeni i że nie ma przekonujących dowodów na to, aby skupiska białaczki i innych nowotworów u dzieci zamieszkujących tereny wokół brytyjskich instalacji nuklearnych były wywołane działaniem promieniowania jonizującego emitowanego przez te instalacje [COMARE 2006]. W Niemczech,

od roku 2002 prowadzono analizy typu „przypadek-kontrola” w celu wykrycia przyczyn zachorowań na białaczki u młodych ludzi żyjących w latach 1980-2003 w pobliżu szesnastu niemieckich EJ. Analizy te, znane jako „badanie KiKK” (*Krebs bei Kindern in der Umgebung von Kernkraftwerken* – rak u dzieci z okolic EJ) objęły prawie 1600 chorych dzieci („przypadków”) w wieku do pięciu lat zamieszkujących w promieniu do 10 km od EJ i ponad 4700 odpowiednio dobranych „kontrolni” – dzieci z okolic, które nie sąsiadują z instalacjami nuklearnymi. Wyniki tych badań wykazały, że przebywanie przez pierwsze 5 lat życia w odległości do 10 km od EJ wiąże się ze zwiększonym ryzykiem zachorowania na nowotwór, zwłaszcza taki jak białaczka: wyliczony iloraz szans (OR) w tych badaniach wynosił – zależnie od modelu badawczego – od 1,12 do 2,19 z dolną granicą przedziału ufności (CI) większym od jedności [Kaatsch i wsp. 2008a; Spix i wsp. 2008]. Jednakże, wartości SWZ wyliczone przez tych samych badaczy nie były statystycznie, wynosząc – zależnie od odległości od EJ – od 0,97 (przy dolnej wartości CI = 0,74) do 1,41 (przy dolnej wartości CI = 0,98) [Kaatsch i wsp. 2008b]. Niewątpliwymi zaletami „badania KiKK” była wyjątkowo duża liczba zachorowań u dzieci pochodzących z okolic wszystkich niemieckich EJ (37 chorych do 5 roku życia mieszkających w promieniu 5 km od EJ wśród ogółem 593 przypadków białaczki wykrytych w 24-letnim okresie badawczym) oraz określenie odległości od miejsca zamieszkania każdego chorego dziecka do najbliższej EJ (czego nie definiowały wcześniej przeprowadzone obserwacje ekologiczne). Jak jednak zauważyli sami autorzy, badanie to miało też poważne wady, takie jak: a) niekompletna i często niewłaściwa rekrutacja przypadków „kontrolnych”, b) nieuwzględnienie działania tzw. czynników zakłócających, szczególnie statusu społecznego badanych dzieci (co, jak wiadomo wpływa na częstość występowania białaczki), c) określenie jedynie miejsca przebywania dzieci w czasie postawienia diagnozy, bez uwzględnienia miejsca ich wcześniejszego zamieszkiwania, lokalizacji żłobków i przedszkoli, domów dziadków, pobytów wakacyjnych itp., d) nieuwzględnienie wahań poziomu promieniowania naturalnego, które w Niemczech może 1000-krotnie przekraczać wielkość promieniowania emitowanego przez jakąkolwiek EJ [Smith i wsp. 2002], e) oparcie analiz na poglądzie wyrażonego w raporcie komitetu BEIR (*Biological Effects of Ionizing Radiation*) amerykańskiej Narodowej Rady Badań (*National Research Council*), że nie należy spodziewać się korzystnych skutków działania bardzo niskich dawek promieniowania [BEIR VII 2006], co sprawiło, że w analizie statystycznej wyników stosowano jedynie testy jednostronne (jednokierunkowe), które częściej niż testy dwustronne wykrywają istnienie znamienności statystycznej badanego parametru, który może

do takiego samego ryzyka występującego w grupie osób narażonych na działanie danego czynnika ryzyka: RR = ryzyko w grupie eksponowanej/ryzyko w grupie nieeksponowanej. RR = 1 oznacza takie samo ryzyko w grupie eksponowanej i nieeksponowanej na czynnik ryzyka. **Nadmiarowe ryzyko względne** (ang. *excess relative risk*, ERR) oblicza się przez odjęcie jedności od ryzyka względnego, czyli ERR = RR - 1. RR i ERR obliczane są w badaniach kohortowych. **Iloraz szans** (ang. *odds ratio*, OR) jest stosunkiem „szansy” (prawdopodobieństwa) narażenia grupy chorych na dany czynnik chorobotwórczy do takiej samej „szansy” u grupy osób zdrowych. OR = 1 oznacza, że szanse narażenia na czynnik chorobotwórczy są takie same w grupie chorych i w grupie zdrowych. OR może być równoważny RR, jeśli ryzyko zachorowania (na określoną chorobę) w danej populacji jest niskie. Ten wskaźnik obliczany jest w analizach epidemiologicznych typu „przypadek-kontrola” [Jekel i wsp. 2001].

zmieniać się tylko w jednym „kierunku” [Jekel i wsp. 2001; Dallal 2011]. Biorąc te wady pod uwagę, autorzy „badania KiKK” stwierdzili, że „nie można wykluczyć, iż uzyskane wyniki są wynikiem nieuwzględnionych czynników zakłócających lub czystego przypadku” [Kaatsch i wsp. 2008a; Spix i wsp. 2008].

Wyniki „badania KiKK” nie znalazły zresztą poparcia w innych szeroko zakrojonych analizach. Na przykład, Dominique Laurier i Denis Bard dokonali w roku 1999 przeglądu wcześniej przeprowadzonych 29 lokalnych i 14 większych (*multi-site*) obserwacji ekologicznych i badań typu „przypadek-kontrola” zachorowań na białaczkę wśród dzieci żyjących w pobliżu instalacji nuklearnych [Laurier i Bard 1999]. Okazało się, że jakkolwiek obserwacje ekologiczne wykazały obecność skupisk białaczki dziecięcej wokół niektórych instalacji, nie było to regułą i podobne skupiska występowały też daleko od takich instalacji, a także, że analizy typu „przypadek-kontrola” nastawione na wykrycie przyczyn takich skupisk nie dały jednoznacznych wyników, pozwoliły natomiast wyeliminować takie hipotezy jak napromienienie ojców przed zapłodnieniem lub działanie promieniowania naturalnego. Późniejsze analizy zachorowań na białaczkę wśród dzieci z okolic aż 198 zakładów nuklearnych z 10 krajów przeprowadzone przez Laurier i jej kolegów wykazały, że choć lokalnie występowały skupiska tej choroby, ryzyko zachorowania nie było zwiększone, jeśli brano pod uwagę większe obszary badawcze (*multi-site studies*) [Laurier i wsp. 2008a]. Badacze ci stwierdzili, że główną przeszkodą w wyjaśnieniu genezy skupisk zachorowań lokalnych jest brak danych co do faktycznych czynników ryzyka białaczki dziecięcej i że najbardziej prawdopodobna jest hipoteza „mieszania się” ludności (*population mixing*), do jakiego dochodzi na terenach wokół instalacji jądrowych (zob. niżej). Co ciekawe, nawet tzw. niezależni badacze, którzy uważają, że występowanie nowotworów u dzieci i młodzieży z okolic zakładów jądrowych spowodowane jest działaniem emitowanego promieniowania jonizującego, przyznają, że wyniki „znacznej większości” badań epidemiologicznych wykazujących wzrost zachorowań nie mają znamienności statystycznej [Fairlie i Körblein 2010; Fairlie 2013]. Istotnie, brak wyraźnie (jeśli w ogóle) zwiększonego ryzyka zachorowania na białaczkę u dzieci z okolic zakładów nuklearnych wykazano w wielu publikacjach zawierających wyniki badań przeprowadzonych w latach 1991-2008 w Izraelu [Sofer i wsp. 1991], USA [Jablon i wsp. 1991; Talbott i wsp. 2003], Szwecji [Waller i wsp. 1995], Niemczech [Kaatsch i wsp. 1998], Japonii [Yoshimoto i wsp. 2004] i Francji [Laurier i wsp. 2008b]. Także późniejsze ogólnokrajowe badanie kohortowe pochodzące ze Szwajcarii [Spycher i wsp. 2011], kolejny raport Komitetu COMARE z W. Brytanii (tzw. badanie CANUPIS) [COMARE

2011], analiza typu „przypadek-kontrola” przeprowadzona we Francji [Sermage-Fuare i wsp. 2012], a także szeroko zakrojona obserwacja ekologiczna z Kanady (badanie RADICON) [Lane i wsp. 2013] nie wykazały związku pomiędzy zamieszkiwaniem w pobliżu EJ a zwiększonym ryzykiem zachorowania przez dzieci na białaczkę lub inny nowotwór złośliwy. Co ciekawe, ta ostatnia obserwacja pokazała, że zapadalność na wszystkie nowotwory złośliwe, w tym radiogenne (tj. wywoływane przez promieniowanie jonizujące) u dzieci z okolic trzech EJ w prowincji Ontario nie różni się, a nawet jest nieco niższa od częstości zachorowań obserwowanej w całej populacji dzieci z Ontario. W dodatku Lane i koledzy, stosując dwie różne metody szacowania dawki pochłoniętego promieniowania jonizującego, zauważyli, że ekspozycja dzieci na promieniowanie *zwiększała się*, a nie zmniejszała, wraz ze wzrostem odległości od EJ, co podaje w wątpliwość wyniki wielu przeprowadzonych wcześniej badań, w których dystans do instalacji jądrowej stanowił, wobec braku możliwości bezpośredniego pomiaru, surrogat dawki pochłoniętej [Lane i wsp. 2013].

Są także ciekawe wyniki badań amerykańskich i brytyjskich, w których analizowano zachorowania na białaczkę dziecięcą w tych samych rejonach przed i po uruchomieniu na ich terenie instalacji jądrowych. I tak Jablon i współpracownicy stwierdzili, że na terenach wokół 62 takich instalacji w USA śmiertelność dzieci z powodu białaczki (oceniana za pomocą standardowego współczynnika śmiertelności, SWŚ) była niższa po (SWŚ = 1,03) niż przed (SWŚ = 1,08) uruchomieniem tych instalacji [Jablon i wsp. 1991]. Podobne wyniki uzyskano w Anglii i Walii, gdzie stwierdzono, że nadmiarowe ryzyko zgonu z powodu białaczki i innych nowotworów w regionach, w których już znajdowały się instalacje jądrowe, było takie samo, jak w regionach gdzie dopiero planowano budowę takich instalacji [Cook-Mozaffari i wsp. 1989]. Także 14. Raport Komitetu COMARE wykazał, że ryzyko względne (RR) zachorowania na białaczkę lub chłoniaka ziarniczego u dzieci mieszkających do 4. roku życia w rejonach wokół 13 brytyjskich EJ miało wartość równą 1,01 (CI, 0,70-1,46), podczas gdy w sześciu podobnych okolicach nieposiadających EJ to ryzyko wynosiło 1,72 (CI, 1,12-2,52) [COMARE 2011].

W ww. przeglądu wiarygodnych danych wynika więc, że występowanie skupisk białaczek dziecięcych potwierdzono jedynie w okolicach instalacji jądrowych w Sellafield w Anglii, Dounreay w Szkocji i Krümmel w Niemczech [Lane i wsp. 2013]. Skoro jednak, jak wielokrotnie wskazywano, ekspozycja na promieniowanie jonizujące nie jest w tych przypadkach podstawową przyczyną zachorowań, przez dłuższy czas zadawano sobie pytanie, co mogło je wywołać.

Brano pod uwagę takie potencjalne czynniki takie jak predyspozycja genetyczna [Birch 1999; Lichtenstein i wsp. 2000], działanie klastogenów (czynników uszkodzających chromosomy), tytoniu, pestycydów, leków i wirusów [Bithel i wsp. 1973; Blot i wsp. 1980; Golding i wsp. 1990; Doll i Wakeford 1997; Lichtenstein i wsp. 2000; Rossig i Juergens 2008], trisomia 21 (jako przyczyna prawie wszystkich przypadków zespołu Downa, który predestynuje do rozwoju białaczki u dzieci) [Bhatnagar i wsp. 2016], wysoki status społeczny [Alexander i wsp. 1991; Rossig i Juergens 2008] oraz dysfunkcja układu odpornościowego w reakcji na zakażenia [Graves 2006]. Jednak, w 75-90% przypadków wykrytych białaczek prawdziwy czynnik sprawczy pozostał nieznany i wydaje się, że – aby doszło do zachorowania – musiało zadziałać kilka różnych czynników [Anderson i wsp. 2000; Lichtenstein i wsp. 2000; Greaves 2006; Rossig i Juergens 2008]. Sugerowano, że metabolizm i/lub usuwanie z organizmu toksyn środowiskowych jest u dzieci mniej wydajne niż u dorosłych i że istnieją krytyczne „okna czasowe”, w których czynniki chorobotwórcze działają szczególnie skutecznie [Anderson i wsp. 2000; WHO 2010]. Jak już wspomniano, jedną z przywoływanych potencjalnych przyczyn skupiska białaczek w Seascale było napromieniowanie gonad zatrudnionych w zakładach jądrowych ojców chorych dzieci [Gardner i wsp. 1990; Gardner 1991]. Bardziej szczegółowe analizy pozwoliły jednak odrzucić hipotezę Gardniera, wskazując, że narażeni na działanie promieniowania ojcowie byli zatrudnieni w wielu różnych zakładach jądrowych w Anglii, a skupisko białaczek u ich dzieci wykryto jedynie w okolicy Seascale [Urquhart i wsp. 1991; Kinlen 1993; Parker i wsp. 1993; Draper i wsp. 1997; Pobel i Viel 1997]. Podobnie, brak związku między napromienieniem ojców, zanim doszło do zapłodnienia a chorobami u ich dzieci, stwierdzono w badaniach potomstwa ofiar ataków bombowych na Hiroshimę i Nagasaki, a także pracowników zakładów jądrowych z różnych krajów [COMARE 2002]. Wydaje się więc, że – jak już podkreślono – możliwą przyczyną ognisk zachorowań wykrytych w Seascale i innych miejscach jest niewyjaśniona „tendencja” białaczek do skupiania się w określonych miejscach i czasie [Greaves 2006; Kaatsch i wsp. 2010].

Jeszcze bardziej prawdopodobną przyczynę tych ognisk zaproponował w 1988 r. Leo Kinlen, który analizował występowanie białaczki u młodych rezydentów szkockiego miasteczka New Town of Glenrothes, gdzie na początku lat 50. XX w. powstało nowe przemysłowe centrum Szkocji przyciągające licznych pracowników z innych części Wielkiej Brytanii [Kinlen 1988]. Takie mieszanie się populacji (*population mixing*) sprzyja rozprzestrzenianiu się wśród miejscowej ludności czynników zakaźnych (wirusów, bakterii, pierwotnia-

ków itp.) przywleczonych przez przybyszów. W tym przypadku centrum przemysłowe powstało w terenie słabo zaludnionym, gdzie tzw. odporność stadna populacji (*herd immunity*)³ na czynnik zakaźny – potencjalną przyczynę rozwoju białaczki – była niższa od przeciętnej krajowej [John i Samuel 2000]. Na tym terenie Kinley wykrył znamieny statystycznie wzrost liczby zachorowań na białaczkę ludzi poniżej 25. roku życia szczególnie dzieci do 5. roku życia (7 faktycznych przypadków zachorowań wobec 1,5 zachorowań „spodziewanych”) [Kinlen 1988]. Sugestia, że *population mixing* jest istotną przyczyną rozwoju białaczki limfocytowej oraz chłoniaka ziarniczego u dzieci potwierdzona została w wielu późniejszych badaniach prowadzonych na Szetlandach i Orkadach [Kinlen i wsp. 1993, 1995] i w Cumbrii w W. Brytanii [Dickinson i Parker 1999], a także w innych krajach [Kinlen 2011]. Te obserwacje zgodne są z obecnie przyjętym poglądem, że spaczona reakcja immunologiczna na długotrwałą ekspozycję na czynnik zakaźny stanowi prawdopodobną przyczynę progresji nowotworowej klonów komórek szpikowych u dzieci podatnych na rozwój choroby [Rossig i Juergens 2008]. Niewątpliwie, do przyjęcia tego stanowiska przyczynił się znany brytyjski epidemiolog, Sir Richard Doll, który już w 1999 r. stwierdził, że hipotezę Kinlena o *population mixing* jako przyczynie rozwoju białaczki limfocytowej u dzieci można uznać za udowodnioną [Doll 1999].

Podsumowanie

Większość wiarygodnych analiz epidemiologicznych wykazała, że poziom promieniowania jonizującego na terenach wokół EJ jest stanowczo za niski, aby mógł być wiązany z zachorowaniami młodych mieszkańców tych terenów na białaczki i inne nowotwory. Najbardziej prawdopodobną przyczyną występowania ognisk białaczek dziecięcych w pobliżu niektórych EJ jest przywlekanie przez napływających z odległych regionów przybyszów wirusów i innych czynników zakaźnych, na które miejscowa ludność nie jest wystarczająco odporna. Ten i inne czynniki mogą być także podłożem znanego, choć słabo wyjaśnionego, zjawiska „skupiania się” przypadków zachorowań na białaczki w „przypadkowych” miejscach i czasie. Być może, bardziej szczegółowe badania dotyczące, np. znaczenia ekspozycji i reakcji organizmu na czynniki kancerogenne w okresie płodowym i tuż po urodze-

³ **odporność stadna** (ang. *herd immunity*), zwana też odpornością zbiorową, populacyjną lub grupową, jest formą ochrony przed chorobami zakaźnymi, która występuje, gdy znaczna część danej zbiorowości (populacji, grupy) stała się odporna na infekcję, zapewniając tym samym ochronę osób niezaszczepionych lub takich, u których szczepionka nie działa. W środowisku, w którym wiele osób jest odpornych, łańcuchy zakażeń prawdopodobnie zostaną przerwane, co zatrzyma lub opóźni rozprzestrzenianie się choroby.

niu pozwolą zidentyfikować przyczyny zachorowań na białaczkę u dzieci. Już teraz jednak można stwierdzić, że długotrwałe przebywanie w pobliżu EJ w czasie jej normalnej pracy nie stawowi żadnego zagrożenia dla zdrowia. Potwierdzeniem tej tezy jest fakt, że nawet najpoważniejsza katastrofa w EJ, z jaką mieliśmy do czynienia w roku 1986 w Czarnobylu, związana z masywnym uwolnieniem do środowiska wielu radionuklidów i rodzajów promieniowania jonizującego, nie spowodowała znaczącego wzrostu zachorowań na białaczki i inne nowotwory (z wyjątkiem raków tarczycy) wśród mieszkańców najbardziej skażonych terenów na Białorusi, Ukrainie i Rosji, wliczając w to dzieci, które były narażone na działanie podwyższonego poziomu promieniowania w okresie płodowym i po urodzeniu [UNSCEAR 2008].

Autor jest zastępcą Przedstawiciela Polski w Komitecie Naukowym ONZ ds. Skutków Promieniowania Atomowego (UNSCEAR) oraz członkiem Rady ds. Bezpieczeństwa Jądrowego i Ochrony Radiologicznej przy Prezesie PAA; w latach 1997-2020 kierował Zakładem Radiobiologii i Ochrony Radiacyjnej Wojskowego Instytutu Higieny i Epidemiologii; obecnie na emeryturze.

*prof. dr hab. n. med. Marek K. Janiak,
Komitet Naukowy ONZ
ds. Skutków Promieniowania Atomowego
(UNSCEAR)*

Literatura:

- [1] Alexander FE, Ricketts TJ, McKinney PA, Cartwright RA. Community lifestyle characteristics and lymphoid malignancies in young people in the UK. *Eur J Cancer*. 1991;27:1486–1490. [PubMed] [Google Scholar]
- [2] Amin R, Bohnert A, Holmes L, Rajasekran A, Assanasen C. Epidemiologic mapping of Florida childhood cancer clusters. *Pediatr Blood Cancer*. 2010;54:511–518. [PubMed] [Google Scholar]
- [3] An Q, Fan C-H, Xu S-M. Recent perspectives of pediatric leukemia - an update. *Eur Rev Med Pharmacol Sci* 21(4 Suppl):31-36, 2017.
- [4] Anderson LM, Diwan BA, Fear NT, Roman E. Critical windows of exposure for children's health: cancer in human epidemiological studies and neoplasms in experimental animal models. *Environ Health Perspect*. 2000;108(Suppl. 3):573–94. [PubMed] [Google Scholar]
- [5] BEIR VII 2006: Health Risks from Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation BEIR VII Phase 2. The National Academies Press; Washington D.C.: 2006. [Google Scholar]
- [6] Bellec S, Hemon D, Rudant J, Goubin A, Clavel J. Spatial and space-time clustering of childhood leukaemia in France from 1990 to 2000: a nationwide study. *Br J Cancer*. 2006;94:763–770. [PubMed] [Google Scholar]
- [7] Bhatnagar N, Nizery L, Tunstall O, Vyas P, Roberts I. Transient Abnormal Myelopoiesis and AML in Down Syndrome: an Update. *Curr Hematol Malig Rep*. 2016;11:333–41.
- [8] Birch JM. Genes and cancer. *Arch Dis Child*. 1999;80:1–3. [PubMed] [Google Scholar]
- [9] Bithell JF, Draper GJ, Gorbach PD. Association between malignant disease in children and maternal virus infection. *Br Med J*. 1973;1:706–708. [PubMed] [Google Scholar]
- [10] Black D. Investigation of the Possible Increased Incidence of Cancer in Cumbria Report of the Independent Advisory Group. HMSO; London: 1984. [Google Scholar]
- [11] Blot WJ, Draper G, Kinlen L, Wilson MK. Childhood cancer in relation to prenatal exposure to chickenpox. *Br J Cancer*. 1980;42:342–344. [PubMed] [Google Scholar]
- [12] Burkart W, Finch GL, Jung T. Quantifying health effects from the combined action of low-level radiation and other environmental agents: can new approaches solve the enigma? *Sci Total Environ*. 1997;205:51–70. [PubMed] [Google Scholar]
- [13] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 4th Report: The Incidence of Cancer and Leukaemia in Young People in the Vicinity of the Sellafield Site, West Cumbria: Further Studies and an Update of the Situation since the Publication of the Report of the Black Advisory Group in 1984. Department of Health; London, 1996. [Google Scholar]
- [14] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 7th Report: Parents Occupational Exposure to Radiation prior to the Conception of their Children. A Review of the Evidence Concerning the Incidence of Cancer in their Children. National Radiological Protection Board; London, 2002. [Google Scholar]
- [15] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 11th Report: The Distribution of Childhood Leukaemia and Other Childhood Cancers in Great Britain 1969–1993. Health Protection Agency; London, 2006. [Google Scholar]
- [16] COMARE. Committee on Medical Aspects of Radiation in the Environment. 14th Report: Further Consideration of the Incidence of Childhood Leukaemia Around Nuclear Power Plants in Great Britain. Health Protection Agency; London, 2011. [Google Scholar]
- [17] Cook-Mozaffari PJ, Darby SC, Doll R, Forman D, Hermon C, Pike MC, Vincent T. Geographical variation in mortality from leukemia and other cancers in England and Wales in relation to proximity to nuclear installations, 1969–78. *Br. J. Cancer*. 1989;59:476–485. [PubMed] [Google Scholar]
- [18] Cutler J. Windscale, the Nuclear Laundry. 1983. Yorkshire Television.
- [19] Dallal GE. 2012. The Little Handbook of Statistical Practice, Version 1.10.
- [20] Dickinson H, Parker L. Quantifying the effect of population mixing on childhood leukaemia risk: the Seascale cluster. *Br J Cancer*. 1999;81:144–151. [PubMed] [Google Scholar]
- [21] Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol*. 1997;70:130–139. [PubMed] [Google Scholar]
- [22] Doll R. The Seascale cluster: a probable explanation. *Br. J. Cancer*. 1999;81:3–5. [PubMed] [Google Scholar]
- [23] Draper GJ, Little MP, Sorahan T, Kinlen LJ, Bunch KJ, Conquest AJ, Kendall GM, Kneale GW, Lancashire RJ, Muirhead CR, O'Connor CM, Vincent TJ. Cancer in the

- offspring of radiation workers: a record linkage study. *Br Med J.* 1997;315:1181–1188. [PubMed] [Google Scholar]
- [24] Fairlie I, Körblein AA. Review of epidemiology studies of childhood leukemia near nuclear facilities: commentary on Laurier *et al.* *Radiat. Prot. Dosimetry.* 2010;138:194–195. [PubMed] [Google Scholar]
- [25] Fairlie I. A hypothesis to explain childhood cancers near nuclear power plants. *J Environ Radiact.* 2013 doi: 10.1016/j.jenvrad.2013.07.024. [PubMed] [CrossRef] [Google Scholar]
- [26] Gardner M, Snee MP, Hall AJ, Powell CA, Downes S, Terrell JD. Results of the case-control study of leukaemia and lymphoma among young people near Sellafield nuclear plant in West Cumbria. *Br Med J.* 1990;300:423–429. [PMC free article] [PubMed] [Google Scholar]
- [27] Gardner M. Father's occupational exposure to radiation and the raised level of childhood leukemia near the Sellafield nuclear plant. *Environ Health Perspect.* 1991;94:5–7. [PubMed] [Google Scholar]
- [28] Golding J, Paterson M, Kinlen LJ. Factors associated with childhood cancer in a national cohort study. *Br. J. Cancer.* 1990;62:304–308. [PubMed] [Google Scholar]
- [29] Greaves M. Infection, immune responses and the aetiology of childhood leukemia. *Nat Rev Cancer.* 2006;6:193–203. [PubMed] [Google Scholar]
- [30] Guizard AV, Boutou O, Pottier D, Troussard X, Pheby D, Launoy G, Slama R, Spira A. The incidence of childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant (France): a survey for the years 1978–1998. *J Epidemiol Community Health* 2001;55:469–474. [PubMed] [Google Scholar]
- [31] Heasman MA, Kemp IW, Urquhart JD, Black R. Childhood leukaemia in Northern Scotland. *Lancet.* 1986;1:266. [PubMed] [Google Scholar]
- [32] Hoffmann W, Schmitz-Feuerhake I, Dieckemann H. A cluster of childhood leukemia near a nuclear reactor in Northern Germany. *Arch. Environ. Health.* 1997;52:275–280. [PubMed] [Google Scholar]
- [33] Hoffmann W, Terschueren C, Richardson DB. Childhood leukemia in the vicinity of the Geesthacht nuclear establishment near Hamburg, Germany. *Environ Health Perspect.* 2007;115:947–952. [PubMed] [Google Scholar]
- [34] Jablon S, Hrubec Z, Boice JD., Jr Cancer in populations living near nuclear facilities. 8. [PubMed] [Google Scholar]
- [35] Jekel JF, Katz DL, Elmore JG. *Epidemiology, Biostatistics, and Preventive Medicine.* 2nd Edition. Saunders; Philadelphia: 2001. [Google Scholar]
- [36] John TJ, Samuel R. Herd immunity and herd effect: new insights and definitions. *Eur J Epidemiol.* 2000;16:601–606. [PubMed] [Google Scholar]
- [37] Kaatsch P, Kaletsch, Meinert R, Michaelis J. An extended study on childhood malignancies in the vicinity of German nuclear power plants. *Cancer Causes Control.* 1998;9:529–533. [PubMed] [Google Scholar]
- [38] Kaatsch P, Spix C, Schultze-Rath R, Schmiedel S, Blettner M. Leukemia in young children living the vicinity of German nuclear power plants. *Int J Cancer.* 2008a;1220:721–726. [PubMed] [Google Scholar]
- [39] Kaatsch P, Spix C, Jung I, Blettner M. Childhood leukemia in the vicinity of nuclear power plants in Germany. *Dtsch Arztebl Int.* 2008b;105:725–732. [PubMed] [Google Scholar]
- [40] Kaatsch P, Sikora E, Pawelec G. Epidemiology and childhood cancer. *Cancer Treat Rev.* 2010;36:277–285. [PubMed] [Google Scholar]
- [41] Kinlen L. Evidence for an infective cause of childhood leukaemia: comparison of a Scottish new town with nuclear reprocessing sites in Britain. *Lancet.* 1988;2:1323–1326. [PubMed] [Google Scholar]
- [42] Kinlen LJ. Can paternal preconceptional radiation account for the increase of leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in Seascale? *Br Med J.* 1993;306:1718–1721. [PubMed] [Google Scholar]
- [43] Kinlen LJ, O'Brien F, Clarke K, Balkwill A, Matthews F. Rural population mixing and childhood leukaemia: effects of the North Sea industry in Scotland, including the area near Dounreay nuclear site. *Br Med J.* 1993;306:743–748. [PubMed] [Google Scholar]
- [44] Kinlen LJ, Dickinson M, Stiller CA. Childhood leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma near large rural construction sites, with a comparison with Sellafield nuclear site. *Br Med J.* 1995;310:763–768. [PubMed] [Google Scholar]
- [45] Kinlen L. Childhood leukaemia, nuclear sites, and population mixing. *Br J Cancer.* 2011;104:12–18. [PubMed] [Google Scholar]
- [46] Lane R, Dagher E, Burt J, Thompson PA. Radiation exposure and cancer incidence (1990 to 2008) around nuclear power plants in Ontario, Canada. *J Environ Prot.* 2013;4:888–913. [Google Scholar]
- [47] Laurier D, Bard D. Epidemiologic studies of leukemia among persons under 25 years of age living near nuclear sites. *Epidemiol Rev.* 1999;21:188–206. [PubMed] [Google Scholar]
- [48] Laurier D, Jacob S, Bernier MO, Leuraud K, Metz C, Samsen E, Laloi P. Epidemiological studies of leukaemia in children and young adults around nuclear facilities: A critical review. *Rad Prot Dos.* 2008a;132:182–190. [PubMed] [Google Scholar]
- [49] Laurier D, Hémon D, Clavel J. Childhood leukaemia incidence below the age of 5 years near French nuclear power plants. *J Radiol Prot.* 2008b;28:401–403. [PubMed] [Google Scholar]
- [50] Lichtenstein P, Holm NV, Verkasalo PK, Iliadou A, Kaprio J, Koskenvuo M, Pukkala E, Skytthe A, Hemminki K. Environmental and heritable factors in the causation of cancer – analyses of cohorts of twins from Sweden, Denmark, and Finland. *N Engl J Med.* 2000;343:78–85. [PubMed] [Google Scholar]
- [51] McNally RJQ, Alexander FE, Birch JM. Space-time clustering analyses of childhood acute lymphoblastic leukaemia by immunophenotype. *Br. J Cancer.* 2002;87:513–515. [PubMed] [Google Scholar]
- [52] Michaelis J, Keller B, Haaf G, Kaatsch P. Incidence of childhood malignancies in the vicinity of west German nuclear power plants. *Cancer Causes Control.* 1992;3:255–263. [PubMed] [Google Scholar]
- [53] Nussbaum RH. Childhood leukemia and cancers near German nuclear reactors: Significance, context, and ramifications of recent studies. *Int J Environ Health.* 2009;15:318–323. [PubMed] [Google Scholar]

- [54] Parker L, Craft AW, Smith J, Dickinson H, Wakeford R, Binks K, McElvenny D, Scott L, Slovak A. Geographical distribution of preconceptional radiation doses to fathers employed at the Sellafield nuclear installation. *Br Med J*. 1993;307:966–971. [PubMed] [Google Scholar]
- [55] Petridou E, Revinthi K, Alexander FE, Haidas S, Kolioukas D, Kosmidis H, Piperopoulou F, Tzortzatos F, Trichopoulos D. Space-time clustering of childhood leukaemia in Greece: evidence supporting a viral aetiology. *Br J Cancer*. 1996;73:1278–1283. [PubMed] [Google Scholar]
- [56] Pobel D, Viel JF. Case-control study of leukaemia among young people near La Hague nuclear reprocessing plant: the environmental hypothesis revisited. *Br Med J*. 1997;314:101–106. [PubMed] [Google Scholar]
- [57] Rossig C, Juergens H. Aetiology of childhood acute leukaemias: Current status of knowledge. *Rad Prot Dos*. 2008;132:114–118. [PubMed] [Google Scholar]
- [58] Schmitz-Feuerhake I, Dannheim B, Heimers A, Oberhaidt B, Schröder H, Ziggel H. Leukemia in the proximity of a German boiling water reactor: Evidence of population exposure by chromosome studies and environmental radioactivity. *Environ Health Perspect*. 1997;105:1499–1504. [PubMed] [Google Scholar]
- [59] Schmitz-Feuerhake I, Dieckmann H, Hoffmann W, Lengfelder E, Pflugbeil S, Stevenson AF. The Elbmarsch leukemia cluster: are there conceptual limitations in controlling emission from nuclear establishments in Germany? *Arch Environ Contam Toxicol*. 2005;49:589–600. [PubMed] [Google Scholar]
- [60] Sermage-Faure C, Laurier D, Goujon-Bellec S, Chartier M, Guyot-Goubin A, Rudant J, Hémon D, Clavel J. Childhood leukemia around French nuclear Power plants – The geocap study, 2002–2007. *Int J Cancer*. 2012;131:E769–E780. [PubMed] [Google Scholar]
- [61] Smith JG, Bexton A, Boyer FHC, et al. Assessment of the radiation impact on the population of the European Union from European Union nuclear sites between 1987 and 1996. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities; 2002. [Google Scholar]
- [62] Sofer T, Goldsmith JR, Nusselder I, Katz L. Geographical and temporal trends of childhood leukemia in relation to the nuclear plant in the Negev, Israel, 1960–1985. *Publ. Health Rev*. 1991;19:191–198. [PubMed] [Google Scholar]
- [63] Spix C, Schmiedel S, Kaatsch P, Schulze-Rath R, Blettner M. Case-control study on childhood cancer in the vicinity of nuclear power plants in Germany 1980–2003. *Eur J Cancer*. 2008;44:275–284. [PubMed] [Google Scholar]
- [64] Spycher BD, Feller M, Zwahlen M, Rössli M, von der Weid NX, Hengartner H, Egger M, Kuehni CE. Childhood cancer near nuclear Power plants in Switzerland: a census-based cohort study. *Int J Epidemiol*. 2011;40:1247–1260. [PubMed] [Google Scholar]
- [65] Strupczewski A. Nie bójmy się energii jądrowej. Rem Script, Warszawa, 2010 [Google Scholar]
- [66] Talbott EO, Youk AO, McHugh-Pemu KP, Zborowski JV. Long-term follow up of the residents of the Three Mile Island accident area: 1979–1998. *Environ. Health Perspect*. 2003;111:341–348. [PubMed] [Google Scholar]
- [67] Tubiana M. Radiation risks in perspective: radiation-induced cancer among cancer risks. *Radiat. Environ. Biophys*. 2000;39:3–16. [PubMed] [Google Scholar]
- [68] UNSCEAR 2000: Sources and Effects of Ionizing Radiation. New York: United Nations; 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report 2000. [Google Scholar]
- [69] UNSCEAR 2008: Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report 2008. New York: United Nations; 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Vol. II Effects. [Google Scholar]
- [70] Urquhart J, Palmer M, Cutler J. Cancer in Cumbria: the Windscale connection. *Lancet*. 1984;1:217–218. [PubMed] [Google Scholar]
- [71] Urquhart JD, Black RJ, Muirhead MJ, Sharp L, Maxwell M, Eden OB, Jones DA. Case-control study of leukaemia and non-Hodgkin's lymphoma in children in Caithness near the Dounreay nuclear installation. *Br Med J*. 1991;302:687–692. [PubMed] [Google Scholar]
- [72] Viel J-F, Richardson ST. Childhood leukaemia around the La Hague nuclear waste reprocessing plant. *Br Med J*. 1990;300:580–581. [PubMed] [Google Scholar]
- [73] Viel J-F, Richardson S, Danel P, Boutard P, Malet M, Barrelier P, Reman O, Carré A. Childhood leukemia incidence on the vicinity of La Hague nuclear-waste reprocessing facility (France) *Cancer Causes Control*. 1993;4:3410343. [PubMed] [Google Scholar]
- [74] Viel J-F, Pobel D, Carré A. Incidence of leukaemia in young people around the La Hague nuclear waste reprocessing plant : A sensitivity analysis. *Statist Med*. 1995;14:2459–2472. [PubMed] [Google Scholar]
- [75] Waller LA, Turnbull BW, Gustafsson G, Hjalmarsson U, Andersson B. Detection and assessment of clusters of disease: An application to nuclear power plant facilities and childhood leukaemia in Sweden. *Statist Medicine*. 1995;14:3–16. [PubMed] [Google Scholar]
- [76] Wassermann O, Dieckmann H, Schmitz-Feuerhake I, Kuni H, Scholz R, Lengfelder E. Childhood leukaemia in the proximity of the nuclear facilities of Geesthacht. Findings of the Expert Commission of the German Federal State of Schleswig-Holstein in the period 1993–2004 on the causes of the increased incidence. *Umwelt Medizin Gesellschaft*. 2004;18:32–34. (w jęz. niemieckim) [Google Scholar]
- [77] WHO 2002: Non-Ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-Frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks). Geneva: World Health Organisation. 2002, str. 332–333, 338. ISBN 978-92-832-1280-5
- [78] WHO 2010: Children's Health and the Environment Annual Report – 2010. 2010. www.who.int/ceh/publications/ceh_annualreport_2010.pdf.
- [79] Wichmann E, Greiser E. Untersuchungsprogramm Leukämie in der Samtgemeinde Elbmarsch– Fragestellung, Ergebnisse, Beurteilungen–Expertkommission und Arbeitsgruppe Belastungsindikatoren. 2004. Niedersächsisches Ministerium für Soziales, Fraune, Familie und Gesundheit Hannover.
- [80] Yoshimoto Y, Yoshinaga S, Yamamoto K, Fijimoto K, Nishizawa K, Sasaki Y. Research on potential radiation risks in areas with nuclear power plants in Japan: leukaemia and malignant lymphoma mortality between 1972 and 1997 in 100 selected municipalities. *J Radiol Prot*. 2004;24:343–368. [PubMed] [Google Scholar]

PROGRAM POLSKIEJ ENERGETYKI JĄDROWEJ A MAŁE REAKTORY MODUŁOWE

Polish Nuclear Power Programme and small modular reactors

Maciej Lipka

Streszczenie: Małe reaktory modułowe (SMR) są często przedstawiane jako przyszłość branży jądrowej, rozwiązanie, które radykalnie skróci czas budowy elektrowni jądrowych, jednocześnie obniżając ich koszty. Niestety w rzeczywistości, z dziesiątek istniejących na papierze projektów, realizowane są na świecie w tej chwili dwa i oba mają znaczne opóźnienia, a ich koszty znacząco rosną względem początkowych zapowiedzi. Oznacza to, że technologia ta nie będzie komercyjnie dostępna jeszcze przez dekady, a w związku z tym nawoływanie do uwzględnienia tego rozwiązania w Programie Polskiej Energetyki Jądrowej oznacza w istocie odsunięcie jego realizacji na nieokreśloną przyszłość.

Abstract: Small modular reactors (SMRs) are often portrayed as the silver bullet for the nuclear industry, a solution that will vastly reduce the construction time of nuclear power plants while lowering their costs. In reality, out of dozens of projects that exist on paper, only two are currently being implemented in the world, both of which are significantly delayed, and their costs soar compared to the initial announcements. These unfortunate circumstances mean that SMR technology will not be commercially available for decades, and therefore calling for this solution to be included in the Polish Nuclear Power Programme means that its implementation will be postponed for an indefinite future.

Słowa kluczowe: SMR, PPEJ, Program Polskiej Energetyki Jądrowej, małe reaktory modułowe

Keywords: Polish Nuclear Power Programme, Small Modular Reactors

Wstęp

W październiku bieżącego roku Ministerstwo Klimatu po konsultacjach publicznych ogłosiło aktualizację Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ), jego celem jest budowa w ciągu najbliższych 20 lat 6–9 GW mocy zainstalowanej w oparciu o duże, sprawdzone reaktory typu PWR (ang. Pressurized Water Reactors – reaktory lekkowodne ciśnieniowe). To działanie, wraz ze wcześniejszym podpisaniem amerykańsko-polskiej umowy w sprawie rozwoju cywilnej technologii jądrowej oraz zapowiadaniem odkupienia przez Skarb Państwa całości udziałów w spółce odpowiedzialnej za budowę pierwszej polskiej elektrowni jądrowej, pozwala mieć nadzieję, że po latach braku aktywności, projekt ten nabierze wreszcie skrzydeł. Przy tej okazji, kolejną falą, z różnych stron powróciły propozycje, żeby zamiast klasycznych, dużych jednostek wytwórczych oprzeć go na małych reaktorach modułowych (ang. Small Modular Reactor – SMR), które miałyby być tańsze, szybsze w budowie i na wiele sposobów lepsze. Dyskusja na ten temat została streszczona w ostatnim (3-2020) numerze Postępów Techniki Jądrowej, a niniejszy artykuł jest próbą usystematyzowania najnowszych informacji związanych z tym typem reaktorów.

SMR – skąd się wzięły?

Początkowo cywilne reaktory jądrowe, których jednym z celów obok prac badawczo-rozwojowych, było wytwarzanie energii elektrycznej, były dość małymi obiektami. Pierwszy z nich, radziecki AM-1 zbudowany w roku 1954 w Obninsku miał moc 6 MW. Kolejne elektrownie miały już większe bloki: w brytyjskim Calder Hall były to obiekty wielkości 60 MW, zaś w amerykańskim Shippingport 68 MW. Moce rosły wraz z kolejnymi pokoleniami reaktorów i rozwojem technologii, osiągając w latach 60. kilkaset MW, jak choćby w przypadku WWER-440/213 o mocy 465 MW, które miały powstać w Żarnowcu. Współcześnie budowane konstrukcje osiągnęły już dawno ponad 1000 MW, z największym jak dotąd 1750 MW EPR w wersji chińskiej (wszystkie moce w tekście podane są jako moce brutto). Przyczyn takiego trendu było kilka: przede wszystkim istotne znaczenie miał efekt skali, powodujący spadek kosztów jednostkowych oraz stale zastrzane wymagania dozorów jądrowych związane z bezpieczeństwem jądrowym – takie same dla dużych i dla małych obiektów. Takie podejście doprowadziło do znacznej komplikacji projektów i trudności technologicznych oraz do konieczności poniesienia przez inwestora (a więc zazwyczaj, przynajmniej pośrednio

– państwo) dużych kosztów kapitałowych, nawet jeśli finalnie reaktory te w długim horyzoncie czasowym produkują tanią energię elektryczną w dużej ilości.

SMR – czym są?

Przede wszystkim są to, przynajmniej z założenia, stosunkowo nieduże reaktory (litera S w skrócie oznacza mały, ang. small) o mocy od kilku do kilkuset MW, przy czym Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA) w swojej definicji zawęża ten przedział do mocy elektrycznej mniejszej od 300 MW. Z kolei litera M (ang. modular – modułowy, modularny), oznacza dwie rzeczy: modularyzację i modułowość. Pierwsza z nich zakłada, że reaktor byłby składany w kontrolowanych warunkach fabrycznych, niemal jak na linii produkcyjnej i w całości przewożony na miejsce budowy. W zamyśle miałyby to uprościć i przyspieszyć proces jego budowy, a także dzięki seryjnej produkcji zmniejszyć koszty inwestycyjne. Z kolei modułowość sprawiałaby, że pojedyncze reaktory można będzie łączyć w większe instalacje, co ułatwiałoby ich pracę we współczesnym systemie elektroenergetycznym i umożliwiło stopniowe podnoszenie mocy poprzez dobudowywanie kolejnych reaktorów. Definicja nie mówi o dokładnym typie reaktora, w artykule skupię się jednak tylko na najbardziej rozpowszechnionej technologii reaktorów energetycznych – lekkowodnej. Pozostałe, takie jak choćby reaktory chłodzone gazem lub ciekłym metalem, nie są dojrzałymi, sprawdzonymi konstrukcjami, lecz zaledwie pojedynczymi w skali globu prototypami.

W tej chwili jedynymi istniejącymi fizycznie reaktorami, które można podciągnąć pod określenie SMR, są dwa rosyjskie KLT-40S, zainstalowane na barce „Akademik Łomonosow”, które generują elektryczność i ciepło w położonym na Dalekiej Północy, rosyjskim Okręgu Czukockim. Ponadto w Argentynie budowany jest CAREM-25. Poza nimi najbliższy możliwej realizacji jest amerykański NuScale, ubiegający się obecnie o homologację dozoru jądrowego USA – Nuclear Regulatory Commission (NRC). Szczegółom homologacji poświęcona jest dalsza część tekstu.

SMR a duże reaktory – modułowość i modularność

W pewnym sensie budowa współczesnych elektrowni jądrowych nie odbiega od budowy żadnego innego obiektu przemysłowego: najpierw wylewa się fundamenty, później stawia budynki, do których za pomocą dźwigów wstawiane są ciężkie elementy łączone spawanymi na miejscu rurociągami. Spawy te jak pokazuje przykład budowanych w Europie reaktorów EPR, bywają problemem i konieczność odpowiednio dokładnego ich wykonania prowadzi do

znacznych opóźnień. Pisząc „ciężkie”, mam na myśli setki ton, co rodzi oczywiste problemy związane z precyzją wykonania i montażu: takich elementów może być nawet kilkanaście, np. w przypadku gargantuicznego francuskiego reaktora EPR są to m.in. zbiornik ciśnieniowy (526 t), reflektor (90 t), stabilizator ciśnienia (150 t) oraz po cztery wytwornice pary i cztery pompy obiegowe (odpowiednio 500 i 112 t każda) [1]. Sprawia to, że jest to kosztowny, skomplikowany i długi proces, podatny na ryzyka związane z opóźnieniami. Tymczasem w wypadku SMR, na plac budowy miałyby trafiać gotowe jądrowe układy wytwarzania pary, a więc sekcje zawierające kompletny pierwotny układ chłodzenia, wraz z wytwornicami pary i stabilizatorem ciśnienia, co zmniejszyłoby zakres skomplikowanych prac, związanych ze spawaniem elementów obiegu pierwotnego, przeprowadzanych na miejscu budowy. W wypadku amerykańskiego NuScale taki układ miałby być zamknięty w gotowym zbiorniku ciśnieniowym, który z kolei montowany będzie w dostarczanej w dwóch częściach stalowej obudowie bezpieczeństwa. Łącznie amerykański NuScale ma ważyć ok. 635 ton [2] [3]. Nowatorskość tego projektu polega również na tym, że ma on pracować bez pomp obiegowych, w układzie cyrkulacji naturalnej. Powoduje to zmniejszenie masy i liczby elementów obiegu pierwotnego oraz w teorii zwiększa niezawodność. Problem polega jednak na tym, że nie powstał do tej pory ani jeden energetyczny reaktor ciśnieniowy takiego typu, choć podobne, należące do typu S8G są stosowane jako napęd atomowych okrętów podwodnych klasy Ohio (choć w specyficznych warunkach i wyłącznie do określonego poziomu mocy, powyżej którego uruchamiane są pompy obiegowe). Również z tego powodu należy więc traktować NuScale jako prototyp.

Nieco podobne rozwiązanie związane z modularyzacją zastosowano przy budowie istniejących już, dużych reaktorów AP1000 – tam, gdzie to możliwe, na placu budowy instalowano gotowe sekcje, łączone jednak na miejscu. Początkowo zakładano, że takie podejście skróci czas budowy do 36 miesięcy [4], okazało się jednak, że pierwsze dwa obiekty w chińskim Sanmen budowano 9 lat [5] [6], co mimo wszystko w świetle danych historycznych należy uznać za przyzwoity wynik [7]. Pod względem tempa budowy pierwszych bloków palmę pierwszeństwa dzierżą reaktory ABWR o mocy elektrycznej 1350 MW, budowane w Japonii na przełomie wieków w zaledwie 4 lata [8].

Jak już wspominałem, w wypadku SMR, modularyzacja idzie dalej, bowiem instalowane na miejscu byłyby gotowe jądrowe układy wytwarzania pary. To rozwiązanie według zamysłu powodowałoby radykalne skrócenie czasu budowy, przede wszystkim poprzez

znaczne ograniczenie zakresu prac spawalniczych na placu budowy: początkowo producent obiecywał czas budowy 36 miesięcy [9]. Obecnie jednak zapowiadany okres wydłużył się do 4 lat [10], jednak nie jest do niego wliczany trzyletni okres przygotowawczy [11] konieczny do wytworzenia prefabrykowanych modułów. Finalnie więc elektrownia jądrowa oparta na technologii NuScale powstawałaby co najmniej 7 lat, czyli zaledwie o rok krócej od pracującego już w Barakah (Zjednoczone Emiraty Arabskie) APR-1400 MW [12]. Należy przy tym pamiętać, że wspomniany w tekście EPR ma moc elektryczną 1750 MW, AP1000 – 1250 MW, APR-1400 – 1400 MW, zaś NuScale tylko 60 MW w jednym reaktorze, przy czym modułowość oznacza, że pojedyncze reaktory łączone będą w większy zespół: docelowo 12 reaktorów o łącznej mocy 720 MW [13].

SMR – odpowiedź na problemy branży jądrowej?

Z racji wielkości, budowa dużych reaktorów napotyka na szereg trudności technologicznych, a jedną z nich jest wykonanie zbiornika ciśnieniowego reaktora i oduwek do niego – obecnie tylko kilka zakładów na świecie jest zdolnych do wykonania takich elementów. Wykonywanie mniejszych zbiorników miałyby według zamysłu SMR rozwiązać ten problem. Jednak w wypadku NuScale, taki zbiornik nie jest z punktu widzenia technologii jego wykonania wyraźnie mniejszy: ma on średnicę ok. 2,8 m przy wysokości 19,8 m [3]. Zbiornik ciśnieniowy AP1000 ma co prawda większą średnicę (4,5 m), lecz za to jest sporo krótszy (12,2 m) [14]. Dodatkowo w przypadku NuScale należało będzie wykonywać do każdego reaktora oddzielną obudowę bezpieczeństwa o średnicy 4,6 m i wysokości 24,6 m. W wypadku dużych reaktorów jest to budynek z żelazobetonu, w którego miejscu umieszczona jest dodatkowa, ogromna konstrukcja (tzw. liner) z połączonych, stalowych płyt o boku 11 m [15]. Ponadto NuScale, ze względu na kwestie związane łatwością obsługi układu dwunastu reaktorów, zdecydowano się na umieszczenie wszystkich dwunastu reaktorów w jednym, wypełnionym wodą basenie o wymiarach ok. 78 x 20 m i głębokości ponad 22 m [16]. Budowa takiego obiektu, spełniającego odpowiednie wymagania techniczne, nie jest oczywiście wyzwaniem na miarę wysłania człowieka na Marsa, niemniej jednak jest to poważne zadanie inżynierskie, które częściowo przynajmniej skomplikuje budowę elektrowni NuScale. Nie jest również jasne, w jaki sposób taki układ reaktorów otrzyma zezwolenie na uruchomienie – jak już wspomniałem, NuScale zapowiada uruchamianie reaktorów po kolei, co oznacza, że pierwsze jednostki miałyby działać jeszcze na placu budowy i nie wiadomo, jak oceni taką sytuację dozór jądrowy, który ma decydujący głos w sprawie ich rozruchu i oddania do eksploatacji.

Wydaje się więc, że rozwiązanie związane ze zmianą rozmiaru zbiornika ciśnieniowego nie wpłynie znacząco na skrócenie czasu budowy i redukcję kosztów. Problemem z kolei może być seryjna produkcja – przypominam, że elektrownia oparta na NuScale ma mieć 12 reaktorów co oznacza, że konieczne będzie wyprodukowanie większej liczby takich elementów w przeliczeniu na 1 GW mocy, niż ma to miejsce w stosunku do klasycznego, dużego reaktora. Dodatkowo przy kilku jednoczesnych zamówieniach istnieje ryzyko, że odbiorcy będą musieli konkurować o to, do kogo trafią gotowe elementy, zwłaszcza że ich wykonawcą ma być zakład w koreańskim Doosan, który produkuje zbiorniki ciśnieniowe również do dużych elektrowni [17][18][19]. A znaczna liczba jednoczesnych zamówień jest jednym z warunków powodzenia projektu, o czym za chwilę.

SMR z fabryki i ich łańcuch dostaw

Obok, w założeniu, krótszego czasu budowy, kolejną, pozytywną cechą SMR miałyby być optymalizacja łańcucha dostaw. Na klasyczną budowę ściągane są elementy z połowy świata: w przypadku AP1000 są to kraje od USA, przez Włochy i Szwajcarię, aż po Koreę Południową i Japonię, przy czym sama produkcja w USA jest rozszkana w kilkunastu stanach [20]. W wypadku NuScale, koncepcja zakłada znaczne skrócenie łańcucha dostaw i zlokalizowanie go niemal w całości na terenie USA, tak by finalnie wspomniane już moduły składać niemal jak na linii produkcyjnej i wysyłać na place budowy. Z pewnością ułatwiłoby to prace konstrukcyjne, jednakże z punktu widzenia odbiorcy technologii jądrowej może to również być minus – skutkiem jest istotne ograniczenie transferu technologii oraz minimalizacja udziału krajowego przemysłu w budowie i co za tym idzie wzrost strumienia pieniędzy wydawanego za granicą zamiast w kraju. Oznacza to również konieczność stworzenia nowego, kompletnego i w sporej części alternatywnego wobec istniejących obecnie łańcucha dostaw. Nie istnieje też obecnie fabryka, która mogłaby składać gotowe moduły jądrowego systemu wytwarzania pary.

Aby taki łańcuch istniał i utrzymywał się na zasadach komercyjnych, muszą się początkowo znaleźć odbiorcy na co najmniej kilkadziesiąt reaktorów określonego typu, tymczasem w tej chwili w grze jest tylko jeden potencjalny nabywca: Carbon Free Power Project, czyli inicjatywa zmniejszenia emisyjności źródeł energii, zainicjowana przez zrzeszenie dostawców i odbiorców energii elektrycznej Utah Associated Municipal Power Systems (UAMPS). Elektrownia miałyby być zlokalizowana na terenie federalnego instytutu badawczego Idaho National Laboratory. Dodatkowo potencjalny rynek SMR będzie zapewne podzielo-

ny pomiędzy większą liczbą dostawców technologii: swoje projekty rozpoczęło szereg firm, zgodnie z podziałem geograficznym i politycznym: m.in. brytyjski Rolls-Royce i francuski Framatome, które co prawda nie mają jeszcze zapewnionego finansowania, jednak zwłaszcza dla Francji, która nadal jest dostawcą technologii jądrowych może to być kwestia prestiżowa.

Problemy NuScale720

Powiększają się opóźnienia związane z projektem: według pierwotnego harmonogramu w roku 2021 miała się rozpocząć produkcja modułów, zaś budowa elektrowni miała ruszyć w 2023 r., tak by pierwszy z modułów zaczął pracować w 2026 r., a kolejne 11 w 2027 r. [21]. Obecnie mowa jest o uruchomieniu pierwszego modułu w roku 2029, a kolejnych w roku 2030 [22]. Zachowanie nawet zmodyfikowanego harmonogramu będzie wyzwaniem. Ostatnie doniesienia prasowe o wydaniu przez amerykańskiego regulatora (NRC) homologacji nie są ścisłe – otrzymał ją, po niemal czteroletnim postępowaniu, zupełnie inny model reaktora NuScale – generujący 50 MW mocy elektrycznej, którego egzemplarze, według pierwotnego projektu miały być łączone w elektrownię o łącznej mocy 600 MW. Obecnie rozważana jest jednak budowa, wspomnianego tu wcześniej modelu o nazwie NuScale720. Złożenie zgłoszenia, które jest podstawą do rozpoczęcia procesu homologacji, było początkowo planowane na czwarty kwartał 2021 r. [23], jednak z nieznanых powodów zostało odsunięte w czasie do roku 2022 [24]. Kolejna procedura potrwa zapewne krócej, od tej już zakończonej, bowiem pomimo większej mocy, są to podobne konstrukcyjnie reaktory. Należy jednak wspomnieć, że nie istnieje pojedynczy dokument zezwalający na budowę reaktora. Po otrzymaniu homologacji konieczne jest co najmniej jeszcze zezwolenie lokalizacyjne, zezwolenie na budowę i wreszcie pozwolenie budowlane (dwa ostatnie są odrębnymi dokumentami). Ich wydanie również trwa, zwłaszcza że na ich potrzeby trzeba opracować osobną, szczegółową dokumentację.

Oprócz opóźnień rośnie niestety także koszt przewidywanego reaktora: jeszcze niedawno mowa była o niecałych 3 mld USD [25], teraz jest to już aż 6,1 mld USD [26], a więc ok. 8470 USD/kW. Powoduje to wzrost prognozowanych cen wytwarzania, względem podawanych w roku 2016 przez NuScale widełek 96-106 USD/MWh [27] (107-114 USD w roku 2020, uwzględniając inflację), obecnie według różnych źródeł, w zależności od szczegółów finansowania, będzie to nawet 125 USD/MWh w roku 2023 [28]. W świetle tych danych nie byłby to oczywiście projekt jądrowy o najwyższych nakładach jednostkowych w historii, zajęłby jednak mało w tym kontekście zaszczytne,

czwarte miejsce [29] i to jeszcze przed położeniem kamienia węgielnego.

Dodatkowo z powodu opisywanych opóźnień i wzrostu prognozowanych kosztów NuScale ma też ostatnio problemy z inwestorami: z konsorcjum wycofały się miasta Logan oraz Lehti, zaś trzecie – Bountiful rozważyło podążenie ich śladem [30]. Co prawda z kolei dołączenie rozważyła spółka energetyczna Wells Rural Electric Company [31], nie rozwiązuje to jednak problemu pozyskania kapitału – do tej pory zakontraktowano zaledwie 213 z planowanych 720 MW [32], co stawia pod znakiem zapytania sfinansowanie projektu na zasadach komercyjnych. Dodatkowym ograniczeniem jest próba zastosowania suchej chłodni kominowej, co w dobie postępujących zmian klimatu jest bardzo dobrym pomysłem minimalizującym wykorzystanie wody do chłodzenia reaktorów, doprowadzi jednak do ograniczenia mocy netto o 5-7% [34].

SMR – kiedy jest użyteczne?

Odpowiem po inżyniersku – to zależy: może to być rozwiązanie w dość szczególnych warunkach dla izolowanych geograficznie, stosunkowo niedużych systemów energetycznych, zamiast konieczności kosztownego, stałego dostarczania paliwa bądź budowy ekstremalnie długich linii przesyłowych. W celu pracy w takich właśnie warunkach powstała pływająca elektrownia jądrowa „Akademik Łomonosow”, która zapewnia elektryczność części Okręgu Czukockiego w Rosji.

Nie jest to jednak do końca SMR – choć zainstalowane na jej pokładzie reaktory KLT-40S generują moc elektryczną 35 MW każdy, a więc mieszczą się w zakresie podawanym przez MAEA, to gorzej z modułowością i modularnością – jest to rozwinięcie reaktorów OK-900 oraz KLT-40, które napędzały radziecki lodołamacz atomowy „Lenin” oraz późniejsze należące do typów „Arktika” i „Tajmyr”. Reaktor jako taki od początku projektu miał zajmować specjalnie zaprojektowany przedział maszynowy na przystosowanym do jego instalacji, pozbawionym napędu statku. Nie będą również budowane kolejne reaktory tego typu, choć rozwinięto je w model RITM-200. Jest to w pewnym sensie powrót do korzeni projektu – jego pierwsze egzemplarze będą napędzały atomowe lodołamacze projektu 22220.

Z podobnych powodów, z których rząd Rosji zlecił opracowanie i budowę KLT-40S, rząd Indonezji wyraził wstępne zainteresowanie projektem CAREM: obecnie musi codziennie dostarczać paliwo, głównie w postaci ciekłych paliw na 3500 wysp [33], zaznaczając jednak przy tym, że o ile małe reaktory to potencjalnie

dobrze rozwiązanie dla małych wysp, to na dużych (na największej z nich – Jawie, mieszka 141 mln osób) powinny powstać duże reaktory [35]. Jednak tak jak NuScale również CAREM ma problemy, choć innego rodzaju. Jego prototyp o mocy 27 MW jest budowany z problemami od 2014 r., ostatnio w związku z kłopotami finansowymi, prace na placu budowy były przez pół roku wstrzymane [36] [37], a po sześciu latach budowy inwestor ocenia jej postęp na 56% [38]. W tym czasie koszty wzrosły z 446 mln do co najmniej 700 mln USD, przy czym najnowsze dostępne szacunki pochodzą z roku 2017. Tymczasem docelowy reaktor o mocy 100 MW ma ewentualnie powstać dopiero po sprawdzeniu prototypu, przy czym nie jest znany stan zaawansowania prac nad jego projektem.

Podsumowanie i droga dla Polski

Polska nie ma na swoim terenie odizolowanych od reszty kraju systemów elektroenergetycznych – oplecioną jest stale modernizowaną siecią przesyłową, która rozprowadza po kraju energię wytwarzaną w elektrowniach, przy tym stosunkowo duża liczba ludności i stale rosnące zapotrzebowanie na elektryczność wymagają dużej podaży energii. Dodatkowo jesteśmy ściśle powiązani z innymi krajami zachodnioeuropejskimi przez obszar pracy synchronicznej Europy kontynentalnej (dawniej UCTE). Przywołane wcześniej przykłady rosyjski i indonezyjski dość jasno pokazują przy tym, że należy dostosowywać plany związane z energetyką (nie tylko jądrową) do regionalnych warunków, a nie szukać specyficznych zastosowań dla potencjalnie dostępnych konstrukcji szczególnego typu w sytuacji, kiedy zastosować można inne, lepiej dopasowane.

Na koniec należy pamiętać, że finalnym celem Programu Polskiej Energetyki Jądrowej nie jest samo w sobie budowanie, ani nawet zbudowanie reaktora jądrowego, lecz dywersyfikacja źródeł energii elektrycznej i powiązana z tym dekarbonizacja (obecnie ponad 80% generowanej elektryczności pochodzi z paliw kopalnych), przy zachowaniu przewidywalnego i możliwie niskiego kosztu wytwarzanej energii elektrycznej. Trudno byłoby zrealizować ten cel wielkimi reaktorami o mocy kilkudziesięciu MW, które w dodatku prawdopodobnie nie będą komercyjnie dostępne jeszcze przez wiele lat. Ktoś oczywiście musi budować prototypy, jednak być może związane z tym ryzyka i koszty nie powinny być ponoszone przez państwo, które energetyki jądrowej nie posiada w ogóle – jego rolą jest oczywiście stymulacja rozwoju technologicznego jednak obok, a nie w miejsce budowy niskoemisyjnej energetyki. W tej sytuacji jedyną możliwością jest oparcie PPEJ na istniejących już, spraw-

dzonych rozwiązaniach. A takimi są wyłącznie duże elektrownie jądrowe.

Maciej Lipka,

*kierownik Działu Analiz i Pomiarów Reaktorowych,
Zakład Badań Reaktorowych (EJ4),
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock*

Literatura:

- [1] Areva. The Path of Greatest Certainty [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: http://www.epr-reactor.co.uk/ssmod/liblocal/docs/EPR%20Interactive/Brochures/300709_EPR_52pages.pdfhttp://www.epr-reactor.co.uk/ssmod/liblocal/docs/EPR_Interactive/Brochures/300709_EPR_52pages.pdf
- [2] NuScale Power. Technology Overview | NuScale Power [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://www.nuscalepower.com/technology/technology-overview>
- [3] NuScale Power. NuScale Plant Design Overview [Internet]. 2013. Available from: <http://pbadupws.nrc.gov/docs/ML1432/ML14329B307.pdf>
- [4] Westinghouse AP1000 Advanced US Nuclear Plants, China – Power Technology | Energy News and Market Analysis [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://www.power-technology.com/projects/westinghouseap100/>
- [5] PRIS – Reactor Details [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=879>
- [6] PRIS – Reactor Details [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=880>
- [7] Locatelli G. Why are Megaprojects, Including Nuclear Power Plants, Delivered Overbudget and Late? Reasons and Remedies – Report MIT-ANP-TR-172, Center for Advanced Nuclear Energy Systems (CANES), Massachusetts Institute of Technology. 2018; (January).
- [8] Kim, S.-B., & Keppler, J.-H. (2014). CASE STUDIES ON “PROJECT AND LOGISTICS MANAGEMENT IN NUCLEAR NEW BUILT” The ABWR Project at Shimane-3, Japan. In OECD NEA Workshop on Project and Logistics Management.
- [9] NuScale Power Modular and Scalable Reactor [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://aris.iaea.org/PDF/NuScale.pdf>
- [10] NuScale’s first SMR plant should be completed by 2027 – Nuclear Engineering International [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://www.neimagazine.com/news/newsnuscales-first-smr-plant-should-be-completed-by-2027-7254981>
- [11] Bailey S. NuScale Presentation [Internet]. 2014. Available from: <https://nupic.com/NUPIC/GetFile.aspx>
- [12] PRIS – Reactor Details [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://pris.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/ReactorDetails.aspx?current=1050>

- [13] Generating Carbon-Free Energy | NuScale Power [Internet]. [cited 2020 Oct 15]. Available from: <https://www.nuscalepower.com/environment/carbon-free-energy>
- [14] Reactor Coolant System and Connected Systems AP1000 Design Control Document. [cited 2020 Oct 15]. Available from <https://www.nrc.gov/docs/ML0715/ML071580904.pdf>
- [15] World Nuclear Association – World Nuclear News [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: https://www.world-nuclear-news.org/NN-Construction_on_schedule_for_first_Sanmen_unit-2109107.html
- [16] NP-ER-0000-1198, Rev. 0, “NuScale Plant Design Overview”. (2012). Retrieved from www.nuscalepower.com
- [17] RPV In Place At Vogtle-4 AP1000, Says Georgia Power: The Independent Global Nuclear News Agency [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://www.nucnet.org/news/rpv-in-place-at-vogtle-4-ap1000-says-georgia-power>
- [18] Reactor vessel installed at Shin Kori 5 – Nuclear Engineering International [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://www.neimagazine.com/news/new-reactor-vessel-installed-at-shin-kori-5-7534634>
- [19] Investors and Partners | NuScale Power [Internet]. [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://www.nuscalepower.com/about-us/investors>
- [20] United States Nuclear Manufacturing Infrastructure Assessment [Internet]. 2018 [cited 2020 Sep 3]. Available from: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1494317>
- [21] Yurman D. Interview with NuScale’s Jose Reyes [Internet]. Neutron Bytes. 2019 [cited 2020 Oct 15]. Available from: <https://neutronbytes.com/2019/06/04/interview-with-nuscale-ceo-jose-reyes/>
- [22] Carbon Free Power Project | NuScale Power [Internet]. [cited 2020 Oct 15]. Available from: <https://www.nuscalepower.com/projects/carbon-free-power-project>
- [23] NRC: Standard Design Approval (SDA) Application – NuScale720. (n.d.). Retrieved September 4, 2020, from <https://www.nrc.gov/reactors/new-reactors/smr/nuscale-720-sda.html>
- [24] NuScale SMR receives NRC design approval – ANS / Newswire [Internet]. [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.ans.org/news/article-481/nrc-completes-final-safety-report-for-nuscale-smr-design/>
- [25] Mundy T.P. NuScale Power Submission to the Standing Committee on Environment and Energy [Internet]. NuScale; 2020 Aug. Available from: <https://www.aph.gov.au/DocumentStore.ashx?id=fd9e29d3-f810-4bcd-9487-ba21f12e01aa&subId=669307>
- [26] Cho A. Smaller, cheaper reactor aims to revive nuclear industry, but design problems raise safety concerns [Internet]. Science | AAAS. 2020 [cited 2020 Oct 15]. Available from: <https://www.sciencemag.org/news/2020/08/smaller-cheaper-reactor-aims-revive-nuclear-industry-design-problems-raise-safety>
- [27] Breckenridge N. NuScale Power SMR: [Internet]. 2016. Available from: <https://www.sseb.org/wp-content/uploads/2010/05/Nils-Breckinridge.pdf>
- [28] Integrated Resource Plan 2019 [Internet]. 2020. Available from: https://docs.idahopower.com/pdfs/AboutUs/PlanningForFuture/irp/2019/2019_IRPUpdated.pdf
- [29] Energy Technologies Institute. The ETI Nuclear Cost Drivers Project: Summary Report. Lucid Strategy [Internet]. 2018; (April 2018). Available from: https://d2umxnkyjne36n.cloudfront.net/documents/D7.3-ETI-Nuclear-Cost-Drivers-Summary-Report_April-20.pdf?mtime=20180426151016
- [30] Some U.S. cities turn against first planned small-scale nuclear plant | Reuters [Internet]. [cited 2020 Oct 13]. Available from: <https://www.reuters.com/article/us-usa-nuclearpower-nuscale-idUSKBN25T30E>
- [31] Logan withdraws from nuclear power project seen as cutting-edge but risky | KSL.com [Internet]. [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.ksl.com/article/50008552/logan-withdraws-from-nuclear-power-project-seen-as-cutting-edge-but-risky>
- [32] In the Mix: Testing Small Modular Reactors as a Future Energy Source | Northwest Power and Conservation Council [Internet]. [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://www.nwcouncil.org/news/mix-testing-small-modular-reactors-future-energy-source>
- [33] Argentina aims to sell the SMR Carem to Indonesia [Internet]. Available from: <https://nbn.media/argentina-aims-to-sell-the-smr-carem-to-indonesia/>
- [34] Irwin T. NuScale SMR-On Track for Deployment [Internet]. 2019 [cited 2020 Oct 13]. Available from: <http://www.nuclearaustralia.org.au/wp-content/uploads/2019/07/Irwin20190626.pdf>
- [35] Made Udiyani P. SAFETY, SITTING, EMERGENCY PLANNING ISSUES FOR SMR DEPLOYMENT IN INDONESIA INPRO Dialogue Forum on Legal and Institutional Issues in The Global Deployment of Small Modular Reactors [Internet]. [cited 2020 Sep 6]. Available from: https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df13/Presentations/018_Safety_siting_emergency_planning_issues_for_SMR_in_Indonesia.pdf
- [36] Construction Work Stops at Carem 25 SMR at Atucha Nuclear Power Plant in Argentina [Internet]. [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://steelguru.com/power/construction-work-stops-at-carem-25-smr-at-atucha-nuclear-power-plant-in-argentina/552591>
- [37] Argentinean projects to resume after hiatus: New Nuclear – World Nuclear News [Internet]. [cited 2020 Sep 6]. Available from: <https://world-nuclear-news.org/Articles/Argentinean-projects-to-resume-after-hiatus>
- [38] de Aranza I. Carem25 current status [Internet]. 2019. Available from: <https://nucleus.iaea.org/sites/INPRO/df17/IV.2-de-Arenaza-CAREM.pdf>
- [39] Cho A. Smaller, cheaper reactor aims to revive nuclear industry, but design problems raise safety concerns [Internet]. Science | AAAS. 2020 [cited 2020 Oct 15]. Available from: <https://www.sciencemag.org/news/2020/08/smaller-cheaper-reactor-aims-revive-nuclear-industry-design-problems-raise-safety>
- [40] BNamericas – Argentine nuclear reactor due to start up in... [Internet]. BNamericas.com. [cited 2020 Oct 15]. Available from: <https://www.bnamericas.com/en/news/argentine-nuclear-reactor-due-to-start-up-in-2020>

REALNA ALTERNATYWA DLA REAKTORA DUŻEJ MOCY W POLSCE

A Real Alternative for a High Power Reactor in Poland

Andrzej Mikulski

Streszczenie: Uaktualniony ostatnio, a pierwotnie przygotowany w 2010 r., Program Polskiej Energetyki Jądrowej nie przewidywał i nadal nie uwzględnia możliwości budowy reaktorów o mniejszej mocy rzędu 200-300 MWe. Wiele pomysłów małych reaktorów pojawiło się w ostatnich latach i można wśród nich znaleźć reaktory o mocy 200-300MWe chłodzone wodą, które powinny być przedmiotem zainteresowania decydentów rządowych. Artykuł wylicza takie cztery konstrukcje znane pod skrótami SMR-160, BWRX-300, UK SMR i NUWARD wraz z krótkimi opisami. Pierwsze dwa z wymienionych reaktorów są obecnie przedmiotem oceny przez urzędy dozoru jądrowego w Kanadzie i USA, a dostawcy obiecują ich uruchomienie do 2028 r. Drugi z tych reaktorów (BWRX-300) rozpatrywany jest do budowy przez prywatny kombinat chemiczny Synthos do w Oświęcimiu. Na końcu podane jest autorskie uzasadnienie by włączyć do rozważań nad przyszłością energetyki jądrowej w Polsce sprawę reaktorów średniej mocy.

Abstract: The Polish Nuclear Power Program, recently updated and originally prepared in 2010, did not and still does not take into account the possibility of building reactors with a lower capacity of 200-300 MWe. Many ideas for small reactors have emerged in recent years, including water-cooled 200-300MWe reactors that should be of interest to government decision makers. The article lists four such designs known as SMR-160, BWRX-300, UK SMR, and NUWARD, along with brief descriptions. The first two of these reactors are currently being assessed by the Canadian and US nuclear regulators, and suppliers promise to start up by 2028. The second of these reactors (BWRX-300) is being investigated for construction by the private chemical plant Synthos in Oswiecim. At the end, the author's justification is given to include the issue of medium-power reactors in the considerations on the future of nuclear power in Poland.

Słowa kluczowe: PPEJ (Program Polskiej Energetyki Jądrowej), SMR, SMR-160, BWRX-300, UK SMR, NUWARD

Keywords: PNPP (Polish Nuclear Power Program), SMR, SMR-160, BWRX-300, UK SMR, NUWARD

W październiku 2020 r. opublikowana została aktualizacja Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ), a w niej nie pozostawiono wątpliwości, że przyszłość energetyki jądrowej w Polsce należy do bloków wielkoskalowych i w perspektywie lat 2033-2043 zainstalowanych zostanie 6-9 GWe mocy w elektrowniach jądrowych. Takie podejście wywodzi się bezpośrednio z pierwotnego planu przyjętego przez rząd jeszcze w 2009 r., gdy na horyzoncie nie było żadnej innej alternatywy – tylko reaktory dużej mocy. Po 11 latach jesteśmy już w innym miejscu i znane są koncepcje reaktorów mniejszej mocy występujących pod skrótem SMR (small medium reactors albo small modular reactors). Tych koncepcji, w różnym stadium realizacji, raport Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej w Wiedniu wymienia ponad 50. W tej chwili nie interesują nas na pewno reaktory bardzo małej mocy, a reaktory w zakresie 200-

400 MWe realizowane w sprawdzonej technologii, czyli reaktory chłodzone wodą, które mogą być wybudowane w ciągu najbliższych kilku lat. Na podstawie tego raportu oraz po analizie poszczególnych rozwiązań i przymierzeniu się do krajowych warunków można wymienić cztery konstrukcje podane w Tabeli 1, według przewidywanej daty uruchomienia pierwszego bloku.

Reaktor wodny ciśnieniowy SMR-160 o mocy 160 MWe proponowany przez firmę Holtec Int. (USA) stanowi modernizację dobrze znanych reaktorów wodno-ciśnieniowych (PWR) polegającą na umieszczeniu w jednej obudowie całego obiegu pierwotnego wraz z wytwornicami pary i stabilizatorem ciśnienia, ale bez głównych pomp cyrkulacyjnych zastąpionych przez grawitacyjny (naturalny) obieg chłodzenia i określany skrótem iPWR (zintegrowany reaktor wodno-ciśnieniowy).

Tabela 1: Reaktory lekko-wodne interesujące dla Polski

Nazwa	Producent	Moc [MWe]	Status	Uruchomienie
SMR-160	Holtec Int. (USA)	160	projekt wstępny	~ 2028
BWRX-300	General Electric Hitachi Nuclear (USA -Japonia)	300	przed licencyjny	2028
UK SMR	Rolls-Royce (Wielka Brytania)	440	projekt koncepcyjny	2030
NUWARD	EDF, CEA, TechnicAtome, Naval Group (Francja)	2 x 170	projekt koncepcyjny	~ 2030 (pocz. budowy)



Fot.1. Reaktor SMR-160 (za zezwoleniem Holtec Int.)

Przyczynia się to do zwiększenia bezpieczeństwa eliminując zewnętrzne wytwornice pary, stabilizator ciśnienia, główne pompy cyrkulacyjne oraz związane z nimi rurociągi, a tym samym awarię polegającą na rozerwaniu rurociągu obiegu pierwotnego. Obniżona moc jednostkowa i zmniejszone wymiary w stosunku do reaktorów wielkoskalowych czynią z niego reaktor modułowy. Wiadomo, że prace nad tym reaktorem prowadzone są od 10 lat, a zgromadzone doświadczenia eksploatacyjne dużych reaktorów PWR, a w tym ostatnio przechodzenie na bardziej bezpieczne paliwo pozwala sądzić, że uzyskanie zezwolenia i budowa będzie przebiegać zgodnie z przewidywaniami. Przewidywany czas budowy reaktora ma wynosić 36 miesięcy, a pierwszy blok ma być uruchomiony w 2028 r. Reaktorem tym zainteresowane są w pierwszym rzędzie Kanada, gdzie zakończona została pierwsza faza przeglądu licencyjnego przez urząd dozoru jądrowego (CNSC). Również w USA rozpoczęty został proces licencyjny przez tamtejszy urząd dozoru jądrowego (US NRC). Poza tym wiadomo o podpisanych porozumieniach na zbadanie możliwości jego budowy na Ukrainie z poważnym udziałem tamtejszego przemysłu i w Czechach oraz ostatnio w Indiach, gdzie mówi się o budowie setek takich reaktorów dla zaspokojenia szybko rosnącego zapotrzebowania na energię elektryczną.

Reaktor wodny wrzący BWRX-300 o mocy 300 MWe firmy General Electric Hitachi Nuclear (USA) wywodzi swoją koncepcję obiegu naturalnego sprawdzoną w dwóch obiektach, a mianowicie w EJ Dodewaard (Holandia) o mocy 55 MWe pracującej przez 29 lat i EJ Humboldt Bay (USA) o mocy 65 MWe pracującej 23 lata. Poza



Fot.2. Reaktor BWRX-300 (za zezwoleniem GE Hitachi Nuclear Energy Americas LLC)

tym podobny reaktor ESBWR o znacznie większej mocy równej 1300 MWe uzyskał licencję na budowę wydaną przez US NRC w 2014 r., ale nie został nigdzie zbudowany. Koncepcja obiegu chłodzenia reaktora bez pomp obiegowych przyczynia się do zwiększenia bezpieczeństwa, a rozmiary zbiornika pozwalają na konstrukcję modułową z wykorzystaniem dotychczasowych doświadczeń eksploatacyjnych reaktorów BWR. Rozpoczęte zostały procesy uzyskiwania licencji wydawanych przez kanadyjskie i amerykańskie urzędy dozoru jądrowego (CNSC i US NRC). Według ostatnio opublikowanych informacji przez GEH Nuclear Energy pierwszy taki reaktor ma być uruchomiony w 2028 r. W październiku 2019 r. podpisana została wstępna umowa na zbadanie możliwości budowy takiego reaktora w Estonii, gdzie w ostatnich dniach rząd powołał specjalną komisję dla zbadania możliwości rozwoju energetyki jądrowej w tym kraju. Wiadomo również o podpisaniu podobnego porozumienia w lutym 2020 r. z koncernem CEZ w Czechach.

Reaktorem BWRX-300 poważnie zainteresowany jest w Polsce prywatny koncern chemiczny Synthos dla zaspokojenia zakładów w Oświęcimiu we własną energię elektryczną. W tym celu podpisane zostało w październiku 2019 r. porozumienie na zbadanie możliwości jego zbudowania w kraju. Ostatnio rozpoczęta została dyskusja z urzędem dozoru w Polsce, którym jest Państwowa Agencja Atomistyki na temat wymaganych dokumentów przy składaniu wniosku o uzyskanie pozwolenia na budowę takiego reaktora.

Reaktor UK SMR jest konstrukcją konsorcjum działającego pod przewodnictwem brytyjskiej firmy Rolls-Royce zaangażowanej równolegle w produkcję reaktorów dla angielskich łodzi podwodnych. Reaktor o mocy 440 MWe wykorzystuje znaną, klasyczną technologię reaktorów PWR z trzema zewnętrznymi pętlami chłodzącymi. Zaprojektowany został jako reaktor modułowy z możliwością dostarczania elementów wyposażenia drogą morską lub lądową (transport kolejowy lub drogowy) z przewidywanym czasem budowy wynoszącym 500 dni. Nie znane są wstępne jego lokalizacje na terenie Wielkiej Brytanii. Wiadomo jedynie, że konsorcjum podjęło szeroką akcję nawiązania współpracy z takimi organizacjami jak Komisja Energii Atomowej w Jordanii (celem oferowania reaktorów w krajach Środkowego Wschodu), EUAS w Turcji i CEZ w Czechach.

Reaktor NUWARD proponowany jest przez francuskie konsorcjum pod przewodnictwem CEA i EDF i wchodzi w skład elektrowni składającej się z dwóch niezależnych małych reaktorów modułowych typu iPWR należących do generacji III+, każdy o mocy 170 MWe. Konstrukcja modułowa zapewnia pełną integrację głównych elementów wewnątrz ciśnieniowego zbiornika reaktora, jak napędy prętów sterujących, kompaktowe wytwornice pary i stabilizator ciśnienia. Prace nad wy-

konaniem podstawowego projektu przewidywane są w latach 2022-2025, a nad projektem technicznym w latach 2025-2030 łącznie z uzyskaniem certyfikatu i określeniem łańcucha dostaw, tak by budowa mogła się rozpocząć w 2030 r. i przewidziana jest na 3 lata. W skład konsorcjum wchodzić dwie firmy mające doświadczenie w budowie kompaktowych reaktorów dla francuskich łodzi podwodnych i lotniskowca. Nawiązywane są kontakty z innymi krajami i firmami (np. Westinghouse), które mogłyby być zainteresowane tym reaktorem.

Dokonany przegląd nie uwzględnia trzech konstrukcji reaktorów lekkowodnych. A mianowicie reaktora CAREM typu iPWR o mocy 30 MWe, który budowany jest obecnie w Argentynie z planowanym uruchomieniem w 2022 r. ze względu na zbyt niską moc, ale jego doświadczenia eksploatacyjne mogą okazać się bardzo interesujące przy weryfikacji konstrukcji reaktora SMR-160. Z tego samego powodu, zbyt mała moc, nie opisano reaktora ACP100 o mocy 125 MWe, który projektowany jest w Chinach z przewidywanym terminem rozpoczęcia budowy jeszcze w 2020 r. i która ma trwać 58 miesięcy, czyli do 2025 r.

Trzecią konstrukcją jest reaktor firmy NuScale typu iPWR o mocy 77 MWe (według najnowszych informacji), którego 12 bloków tworzy elektrownię o mocy 924 MWe. Umieszczone są one obok siebie w jednej hali technologicznej i korzystają ze wspólnej sterowni. Ta konstrukcja jest najbardziej zaawansowana pod względem formalnym, gdyż firma NuScale uzyskała w sierpniu br. Końcowy Raport Oceny Bezpieczeństwa (tzw. FSER) wydany przez amerykański urząd dozoru jądrowego (US NRC) mimo obaw o bezpieczeństwo ze względu na usytuowanie obok siebie i wspólną sterownię. Obecnie przygotowывается dokumentacja w celu uzyskania tzw. Wspólnego Zezwolenia na Lokalizację i Eksploatację (tzw. COL), a firma korzysta z licznych dofinansowań z Departamentu Energii USA. Elektrownia, a raczej reaktory te są najczęściej wymieniane w polskiej prasie jako możliwość zbudowania ich w Polsce, ale z drugiej strony ze względu na ich liczbę, 25 sztuk potrzebną dla uzyskania porównywalnej mocy z dużym reaktorem, moim zdaniem niewielkie są szanse na uzyskanie zgody dozoru jądrowego na budowę tej elektrowni w Polsce. Niemniej jednak firmy w Estonii, Czechach i Rumunii zawarły ramowe porozumienia na przygotowanie studium wykonalności tej elektrowni w tych krajach.

Do małych reaktorów modułowych zaliczane są też reaktory wysokotemperaturowe chłodzone gazem i określane skrótem HTGR z głównym przeznaczeniem do wytwarzania ciepła przemysłowego. Nie stanowią one alternatywy dla wyżej opisanych reaktorów lekkowodnych, ale są interesującą koncepcją z przewidywanym zastosowaniem przemysłowym w latach 2035-2040. Znajdują one zainteresowanie w ramach projektu GOSPOSTRATEG-HTR realizowanego przez Ministerstwo Klimatu i Środowiska w latach 2019-2022, który w pierw-

szym rządzie ma prowadzić do zbudowania takiego reaktora badawczego w Polsce.

Uzasadnienie zainteresowania się małymi reaktorami, w moim przekonaniu, powinno wynikać z następujących przesłanek:

- postulowany jeden z reaktorów SMR może być uruchomiony w Polsce z niewielkim opóźnieniem w stosunku do planowanych terminów uruchomienia za granicą i na pewno wcześniej niż w 2033 r. oraz z wykorzystaniem prowadzonych badań środowiskowych i lokalizacyjnych dla wytypowanych lokalizacji na Pomorzu,
- budowa mniejszych bloków w rozwiązaniu modułowym jest bardziej opłacalna finansowo, gdyż trwa krócej, kredyt zaciągany jest na znacznie niższą sumę i na krótszy czas, a poza tym kredyt na drugi (następny) reaktor może już być spłacany, gdy poprzedni reaktor już pracuje (dostarcza energię elektryczną),
- budowa wielu reaktorów o mniejszej mocy wcale nie musi być droższa niż budowa jednego dużego reaktora i znacznie efektywniej zaangażuje polski przemysł wykonawczy niż budowa kilku (obecnie sześciu) reaktorów dużej mocy,
- posiadanie reaktorów o mniejszej mocy pozwoli na znacznie łatwiejsze dostosowanie się do przerw w dostawach energii elektrycznej ze źródeł OZE,
- pomyslna realizacja pierwszego reaktora otworzy drogę do budowy następnych dla zastępowania wycofywanych z eksploatacji bloków konwencjonalnych o mocy 200 MW z wykorzystaniem całej infrastruktury wyprowadzenia mocy i zachowaniem istniejących miejsc pracy.

Rozpatrzenie alternatywy budowy w Polsce wybranego reaktora SMR w świetle podpisanego porozumienia ze Stanami Zjednoczonymi w sprawie współpracy w energetyce jądrowej jest dobrym momentem, by na nowo rozważyć przyszłość energetyki jądrowej i rozpatrzyć wszelkie możliwości z punktu widzenia techniki i ekonomii. Dużo się ostatnio pisze na świecie o reaktorach SMR, a ostatnią informacją niech będą wiadomości o zainteresowaniu Holandii małymi reaktorami modułowymi.

Dr inż. Andrzej Mikulski, wieloletni pracownik Instytutu Badań Jądrowych i Instytutu Energii Atomowej w Świerku, inspektor dozoru jądrowego w Państwowej Agencji Atomistyki, przewodniczący Komitetu Sterującego strategicznym projektem badawczym NCBR „Technologie wspomagające rozwój bezpiecznej energetyki jądrowej” w latach 2011-2014 oraz przewodniczący Sekcji Energetyki Jądrowej w Polskim Towarzystwie Nukleonowym od 2002 r.

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

Skrócona wersja artykułu ukazała się w dzienniku Rzeczpospolita w dniu 26 listopada 2020 r.

PRZEGLĄD KONSTRUKCJI DOZYMETRÓW DO UŻYTKU AMATORSKIEGO – WADY I ZALETY

Overview of the design of dosimeters for amateur use - advantages and disadvantages

Łukasz Karolewski

Streszczenie: Aparatura dozymetryczna od wielu lat dostępna jest masowemu użytkownikowi. W produkowanych obecnie miernikach można wyróżnić kilka trendów konstrukcyjnych, z których każdy ma pewne wady i zalety. Najczęściej występuje układ z detektorem osłoniętym jedynie kratką w obudowie, miernik taki mierzy większość promieniowania beta i gamma. Jego wskazania nie są miarodajne z uwagi na brak kompensacji energetycznej licznika Geigera-Mullera, co powoduje znaczne zawyżenie wskazań od niskoenergetycznego promieniowania gamma oraz emisji beta. Mniej popularny jest układ z detektorem osłoniętym obudową przyrządu, ale bez dodatkowego filtra odcinającego promieniowanie beta i wyrównującego charakterystykę energetyczną. Zawyżenie wyniku jest tu mniejsze, jednak nadal występuje, miernik mierzy większość emisji gamma i silniejsze promieniowanie beta. Problem nie występuje w pełnoprawnych radiometrach beta-gamma, w których zdejmowany filtr umożliwia pomiar zarówno łącznej emisji, jak i samego promieniowania gamma. Na rynku dostępne są też dozymetry z licznikiem okienkowym o cienkim okienku mikowym, które mierzą promieniowanie alfa, beta i gamma. Są one jednak drogie i podatne na uszkodzenia detektora. Nie spotyka się obecnie, przynajmniej w klasie popularnej, mierników ze stałym filtrem na detektorze, które mierzą jedynie emisję gamma. Układ ten był popularny w indykatorach promieniowania, produkowanych w ZSRR po awarii w Czarnobylu. O wyborze układu konstrukcyjnego decyduje przeznaczenie danego miernika. Jeżeli przyrząd ma służyć do szybkiego wykrywania źródeł promieniowania, wówczas najskuteczniejszy będzie układ z odsłoniętym detektorem. Jeśli zaś miernik ma służyć do oceny narażenia na promieniowanie jonizujące, gdzie pod uwagę bierze się głównie emisję gamma, wówczas stosowny będzie dozymetr z licznikiem skompensowanym energetycznie. Może to być miernik z filtrem zdejmowalnym, jeśli zależy nam również na zastosowaniu do poszukiwania źródeł, lub stałym, jeśli ma pełnić wyłącznie funkcję dawkomierza.

Abstract: Dosimetric equipment has been available to mass users for many years. Several design trends can be distinguished in the gauges produced today, each of which has certain advantages and disadvantages. The most common is a system with a detector covered only by a grille in the housing, such a meter measures most of the beta and gamma radiation. Its indications are not reliable due to the lack of energy compensation of the Geiger-Muller counter, which significantly overestimates the indications due to low-energy gamma radiation and beta emission. The system with a detector covered by the instrument's housing is less popular, but without an additional filter that cuts off beta radiation and equalizes the energy characteristics. The overestimation of the result is smaller here, but still present, the meter measures most of the gamma emissions and stronger beta radiation. The problem does not occur with full-fledged beta-gamma radiometers, where a removable filter allows the measurement of both the total emission and the gamma radiation itself. There are also dosimeters with a window counter with a thin mica window that measure alpha, beta and gamma radiation. However, they are expensive and susceptible to detector failure. Currently, at least in the popular class, there are no meters with a fixed filter on the detector that measure only gamma emission. This system was popular in radiation indicators produced in the USSR after the Chernobyl accident. The purpose of the given gauge determines the choice of the structural system. If the instrument is to be used for rapid detection of radiation sources, then the system with the detector exposed will be the most effective. If the meter is to be used to assess exposure to ionizing radiation, where mainly gamma emission is taken into account, then a dosimeter with an energy-compensated meter will be appropriate. It can be a meter with a removable filter, if we also want to be used for searching for sources, or a permanent one, if it is to serve only as a dosimeter.

Słowa Kluczowe: dozymetria, ochrona radiologiczna, licznik Geigera-Mullera, dozymetr, radiometr, dawkomierz, pomiar radioaktywności, detekcja promieniowania

Keywords: dosimetry, radiological protection, Geiger-Muller counter, dosimeter, radiometer, dosimeter, radioactivity measurement, radiation detection

Wstęp

Sprzęt dozymetryczny dawno przestał być domeną wyłącznie naukowców i od wielu lat na rynku dostępna jest bardzo szeroka oferta dozymetrów do użytku amatorskiego. Są to przyrządy o bardzo zróżnicowanej

jakości i funkcjonalności, a przyjęte w nich rozwiązania konstrukcyjne często bywają dość dyskusyjne.

Obserwując od wielu lat rynek dozymetrów klasy popularnej, mogę zaobserwować kilka trendów w projektowaniu tych przyrządów. Przyjrzyjmy się

więc ich charakterystyce oraz zasadności stosowania z punktu widzenia dozymetrii i ochrony radiologicznej. Zamierzam skupić się na dystrybuowanych obecnie (2020) dozymetrach do użytku amatorskiego, choć w celach porównawczych wspomnę również o radzieckich miernikach produkowanych dla ludności po katastrofie w Czarnobylu oraz niektórych przyrządach profesjonalnych z Zjednoczonych Zakładów Urządzeń Jądrowych „POLON” (obecnie POLON Biuro Handlowe sp. z o.o.), stosowanych w polskim przemyśle jądrowym.

Swoje opinie opieram przede wszystkim na wynikach testów i recenzji, które prowadziłem na łamach bloga promieniowanie.blogspot.com w latach 2013-2020, a także charakterystyk technicznych, podawanych przez producentów sprzętu w specyfikacjach i ofertach handlowych.

Układ z odsłoniętym detektorem

Najczęściej stosowany jest układ, w którym pojedynczy licznik G-M osłonięty jest jedynie kratką w ściance obudowy, zatem dociera do niego większość promieniowania ze źródła, zarówno gamma, jak i też beta. Na wydajność układu składa się, oprócz grubości ścianki samego licznika G-M, również rozmiar oczek kratki, jak również w dużo mniejszym stopniu oddalenie detektora od powierzchni obudowy.

Najpopularniejsze dozymetry w tym układzie to głównie konstrukcje chińskie i rosyjskie. W pierwszych stosowany jest zwykle szklany licznik M4011, w drugich metalowy SBM-20. Licznik M4011 jest uważany za odpowiednik SBM-20, choć nie jest do w pełni uzasadnione, gdyż ma szklaną ściankę o gęstości powierzchniowej 50 mg/cm² (+/- 10 mm) zamiast metalowej 40 mg/cm² jak rosyjski pierwowzór. Oznacza to mniejszą czułość na niskoenergetyczne promieniowanie oraz wolniejszy czas reakcji niż SBM-20, który dowiódł swojej skuteczności w bardzo wielu udanych przyrządach dozymetrycznych. Przykładowe dozymetry chińskie w tym układzie to BR-6 i Lerow LR-4011, rosyjskie zaś

to głównie wyroby firmy Soeks (01M, 112, Ecovisor F4, Quantum), a także Rodnik 3 firmy Ideal Ratio czy Radex RD-1503. Warto również wspomnieć o amerykańskich dozymetrach GQ GMC-300E i 320 Plus.

Wadą tych dozymetrów jest fakt, iż mierzą całość promieniowania, które dociera do detektora, czyli swoisty „groch z kapustą”, mieszaną kwantów gamma o różnych energiach i cząstek beta. Jeśli używamy dozymetru do poszukiwania niskoaktywnych źródeł promieniowania, np. szkła uranowego, ceramiki czy minerałów, nie będzie to istotną wadą, gdyż w takim przypadku niezbędne jest szybkie i jednoznaczne stwierdzenie podwyższonej emisji z danego obiektu. Jeżeli jednak chcemy go użyć do oceny indywidualnego narażenia na promieniowanie, jego wskazania nie będą użyteczne i to z dwóch powodów. Po pierwsze, przez nierozróżnianie rodzajów promieniowania. Przykład — wynik 100 $\mu\text{Sv/h}$ na dozymetrze z częściowo odkrytym detektorem jest możliwy do uzyskania przez następujące źródła:

- źródło kontrolne od rentgenoradiometru DP-66 (sama emisja beta o wysokich energiach, pochodząca od strontu-90 i itru-90),
- naczynie ceramiczne z polewą uranową (emisja beta i słaba gamma od pierwiastków z uranowo-radowego i uranowo-aktynowego szeregu promieniotwórczego, wynik dodatkowo zawyżony przez większą czułość nieskompensowanego energetycznie licznika G-M),
- zegar lotniczy z radową farbą świecącą (słaba emisja gamma radu-226, a także silne promieniowanie gamma i beta jego produktów rozpadu, np. bizmutu-214)
- przemysłowe lub medyczne źródło izotopowe pozbawione osłony, z odległości kilku metrów (promieniowanie gamma o dużej energii z cezu-137, kobaltu-60 lub irydu-192).

Jak widać, wynik ten sam, a stopień zagrożenia dla zdrowia człowieka zupełnie inny. Brak filtra, który odcina promieniowanie beta (choćby 1 mm aluminium), może prowadzić do bardzo mylących wyników, choć



Fot. 1. Dozymetry z odsłoniętym detektorem - od lewej: KB-4011, LR-4011, FS-2011, Soeks 01M

Photo 1. Dosimeters with an exposed detector - from the left: KB-4011, LR-4011, FS-2011, Soeks 01M

z punktu widzenia ochrony radiologicznej mniej szkodliwe jest zawyżenie pomiaru niż jego zaniżenie.

Druga kwestia to nieliniowa charakterystyka energetyczna licznika Geigera-Mullera, wynikająca z jego zasady działania. Licznik ten jest bowiem znacznie bardziej czuły na promieniowanie o niższej energii niż o wyższej. Zatem, aby liczba zliczeń w liczniku była względnie niezależna od energii padających kwantów, należy znacznie osłabić niskoenergetyczne promieniowanie. Zwykle uzyskuje się to za pomocą kilku warstw ołowianej folii, owijającej licznik, bądź też fabrycznego pogrubienia ścianek licznika, ewentualnie przez dodatkowy, odejmowany filtr, jeśli chcemy zachować możliwość pomiaru promieniowania beta. Pierwsze rozwiązanie stosowane było w prostych dozymetrach i indykatorach z metalowym, wyszczułym licznikiem SBM-20, aby mierzyły tylko emisję gamma. Drugie zaimplementowano w tanich chińskich miernikach ze szklanym licznikiem M4011, który ze względu na grubsze szklane ścianki określany jest, nieco na wyrost, jako „energy compensated”. Trzeci układ występuje tylko w bardziej zaawansowanych przyrządach o przeznaczeniu profesjonalnym lub pół-profesjonalnym.

Oslabienie za pomocą ekranu większości niskoenergetycznego promieniowania powoduje, że liczba zliczeń od tych resztek słabego promieniowania, które ledwie przedostanie się przez ołów, będzie zbliżona do liczby zliczeń silnego promieniowania, dla którego ołów nie będzie przeszkodą, a na które licznik jest znacznie mniej czuły. W przeciwnym przypadku odsłonięty, nieskompensowany energetycznie licznik G-M będzie przesadnie reagował na słabe promieniowanie, a niewystarczająco na mocne. Problem ten bardziej dotyczy liczników metalowych niż szklanych, choć i tak, szklana ścianka licznika nie jest zbyt wydajna w roli filtra kompensacyjnego. Dobrym przykładem mogą być pomiary mocy dawki od wyrobów z glazurą uranową, które emitują głównie niskoenergetyczne promieniowanie beta i gamma. Przy większych powierzchniach tej glazury dozymetry z nieskompensowanym, odsłoniętym licznikiem metalowym pokazują wyniki nawet rzędu 100-150 $\mu\text{Sv/h}$, podczas gdy szklany licznik skompensowany wskaże zaledwie 30-50 $\mu\text{Sv/h}$, zaś dozymetr z ołowianym filtrem odcinającym promieniowanie beta – zaledwie ok. 0,5 $\mu\text{Sv/h}$.

Zatem pomiar dozymetrem z odsłoniętym licznikiem GM będzie podwójnie niemiarodajny — emisja gamma będzie zawyżona zarówno obecnością cząstek beta, jak i przez nieliniową charakterystykę czułości licznika na promieniowanie gamma. Do tego dochodzi jeszcze kwestia zasadności pomiaru aktyw-

ności beta w jednostkach mocy dawki promieniowania gamma, o czym jeszcze wspomnę.

Zaletą tego układu jest prostota konstrukcji oraz swoista widowskość pomiaru. Taki dozymetr daje wskazanie rzędu 150 $\mu\text{Sv/h}$ przy pomiarze promieniowania emitowanego przez wiele przedmiotów codziennego użytku bez praktycznego narażania się na wysokie dawki promieniowania jonizującego. Jednak wynik ten nie będzie miał dużo wspólnego z rzeczywistością, a nawet wprowadzi w błąd uczestników pokazu, podważając jego naukową rzetelność. Jediną faktyczną zaletą tego typu dozymetru jest szybki czas reakcji, nawet na źródła o niewielkiej aktywności, szczególnie przy zastosowaniu nieskompensowanego licznika metalowego. Zawyżenie wyniku może być tu nawet pewną zaletą, umożliwiając szybką i jednoznaczną identyfikację np. szkła uranowego. Okupione będzie to jednak nieprzydatnością miernika do celów ochrony radiologicznej, chyba że zamontujemy dodatkowy, zewnętrzny filtr z blachy aluminiowej lub stalowej.

Układ z zakrytym detektorem

Drugi układ jest znacznie rzadziej spotykany w produkowanych obecnie dozymetrach. W tym przypadku licznik jest całkowicie schowany w obudowie, ale nie ma żadnego dodatkowego ekranowania, odcinającego promieniowanie beta. Częściowo rolę takiego ekranu spełnia obudowa dozymetru, choć jej wydajność jako filtra jest dość niska, a częściowo sama ścianka licznika G-M, jeśli jest to licznik szklany, opisywany jako „skompensowany”. Zatem przyrząd mierzy swoistą mieszankę silniejszego promieniowania beta i większości emisji gamma, jednocześnie mając mniejszą czułość i wolniejszy czas reakcji na słabsze źródła. Użycie kombinacji szklanej ścianki licznika i plastiku obudowy przyrządu pozwala zaoszczędzić na profesjonalnej kompensacji energetycznej, która wymagałaby odpowiedniego doboru grubości i rodzaju materiałów na ekran oraz właściwego ich rozmieszczenia na długości licznika. Przyjęcie takiego rozwiązania nieco zmniejsza błąd pomiaru wywołany nieliniową charakterystyką licznika G-M i czyni dozymetr bardziej przydatnym do oceny indywidualnego narażenia na promieniowanie jonizujące. Z drugiej strony taki przyrząd jest mniej użyteczny do szybkiej identyfikacji niskoaktywnych źródeł.

Konstrukcje w tym układzie są znacznie mniej popularne na polskim rynku, tak naprawdę głównym ich przedstawicielem jest chiński BR-9B, będący rozwinięciem wspomnianego BR-6 oraz tanie mierniki z serii GMV-2, wszystkie wykorzystujące szklany licznik M4011. Warto wymienić też chiński Greentest



Fot. 2. Dozymetry w układzie z zakrytym detektorem — od lewej: BR-9B, Cajo JMV-2, BlackWings
Photo 2. Dosimeters with a covered detector — from the left: BR-9B, Cajo JMV-2, BlackWings

ECO5 — dozymetr połączony z miernikiem zawartości azotanów w żywności, czy rosyjski Atom Simple, dozymetr na liczniku SBM-20, współpracujący ze smartfonami. Z kolei niemiecki Voltcraft Gamma Check i rosyjski Radex One swoją konstrukcją wskazują wręcz na zastosowanie ukierunkowane bardziej na ochronę radiologiczną. Warto też wspomnieć o niefabrycznej konstrukcji, jaką są polskie dozymetry z serii Radiatex – modele MDR-1 i MRD-2 – w obu zastosowano licznik SBM-20.

Ze starszych konstrukcji można wymienić:

- RK-63 (licznik metalowy STS-5 lub szklany BOB-33)
- Poisk (odmiana Biełły, od pierwowzoru odróżniająca się brakiem ekranowania licznika G-M)
- DBGB-01 Łotta
- DBGB-01 Raton 901 (występował w wersji z metalowym licznikiem SBM-20 i szklanym PRGI-101)

Wady układu są takie same jak poprzedniego – nadal mierzymy „groch z kapustą”, tylko w innych proporcjach, w przypadku złożonego widma odcinana jest jego niskoenergetyczna część, zarówno promieniowania beta, jak i gamma. Do tego dochodzą dodatkowe wady, czyli mniejsza czułość na niskoenergetyczne promieniowanie oraz dłuższy czas reakcji na zmiany mocy dawki, choć tutaj część winy ponoszą też algorytmy układu zliczającego i uśredniającego. Pomiar np. niskoaktywnego szkła uranowego takim miernikiem zajmie nam znacznie więcej czasu niż w przypadku odkrytego detektora. Zawyżenie wyniku przez niskoenergetyczne promieniowanie będzie tutaj mniejsze niż przy odkrytym liczniku, zwłaszcza nieskompensowanym, nadal nie będzie to jednak ani pomiar całej emisji, ani tylko pomiar samego promieniowania gamma. Niemniej jednak, przekłamania pomiaru będą mniejsze, co zwiększa użyteczność przyrządu do celów oceny indywidualnego narażenia na radiację.

Dozymetry ze zdejmowanym filtrem

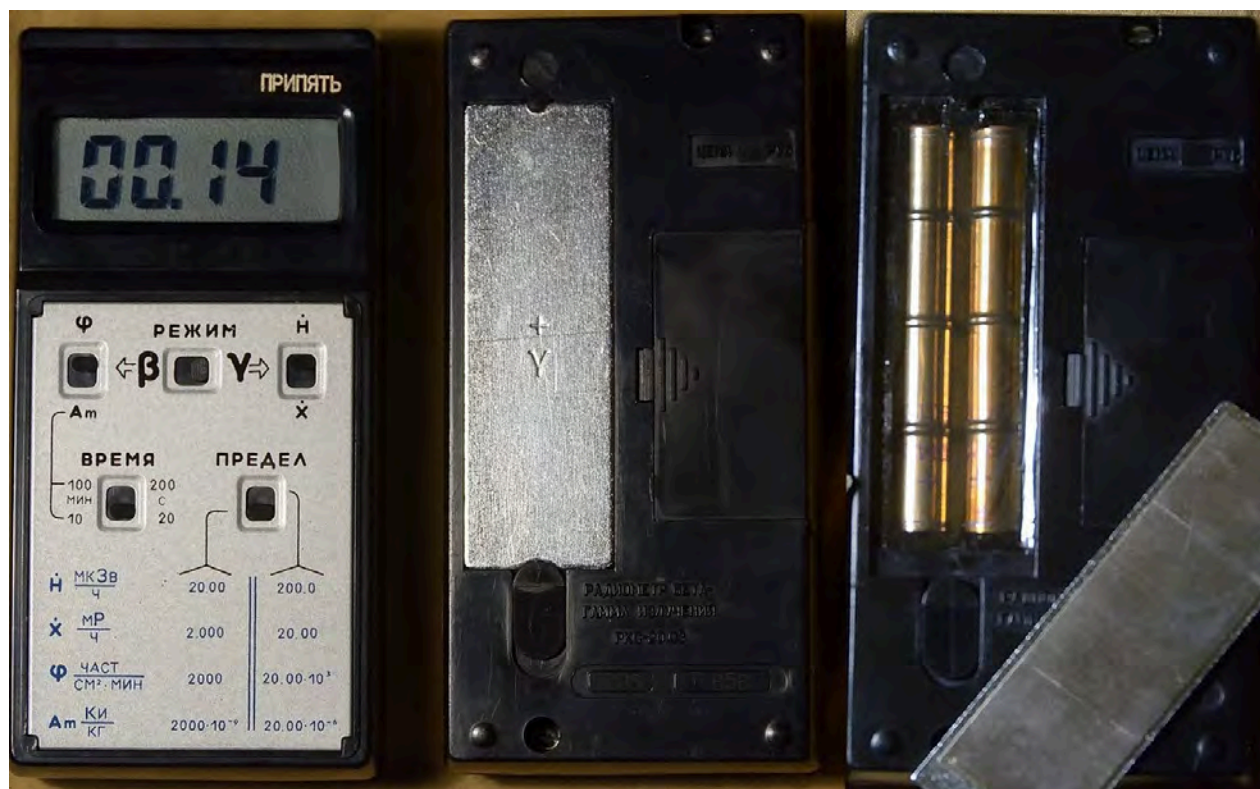
Dla ścisłości warto wspomnieć też o pełnoprawnych radiometrach beta-gamma, wyposażonych w odejmowaną klapkę-filtr, która odcina promieniowanie beta. Układ ten zapewnia większą wiarygodność wskazań, gdyż pokazuje, jaki procent wyniku przypada na najbardziej szkodliwe wysokoenergetyczne promieniowanie gamma, a jaki na mniej przenikliwą emisję beta i słabą gamma, która z kolei jest groźniejsza przy skażeniach. Rozwiązanie to nastrocza jednak wiele dodatkowych problemów konstrukcyjnych, co skutkuje rzadkim jego stosowaniem we współczesnych przyrządach. Przede wszystkim pomiar promieniowania beta w jednostkach mocy dawki wymaga kalibracji dla każdego izotopu osobno, stosownie do jego energii. W przeciwnym wypadku wynik będzie jedynie indykacją, i tak też przyjęto podchodzić do pomiaru beta w profesjonalnych kieszonkowych radiometrach beta-gamma z ZZUJ Polon (KR-67, RK-10, RK-21). Kompromisowym rozwiązaniem może być podawanie wyniku pomiaru emisji beta w impulsach na sekundę (cps) lub gęstości strumienia cząstek z jednostki powierzchni (zwykle $1/s \cdot cm^2$ lub $1/min \cdot cm^2$). Drugą kwestią jest grubość filtra, która zawsze albo zatrzyma zbyt wiele cząstek beta, albo przepuści za dużo kwantów gamma, zaburzając pomiar. Na ogół temat zagrożenia od promieniowania beta jest w dozymetrii traktowany po macoszemu, choć zarówno skażenia, jak i silne źródła beta-aktywne mogą stanowić poważne zagrożenie dla życia i zdrowia. Promieniowanie beta, ponieważ jest mniej przenikliwe niż gamma, może powodować groźne oparzenia skóry, na której traci swoją energię. Przy dużych mocach dawek może nawet spowodować ciężką chorobę popromienną, jak w przypadku drwali z Gruzji, którzy znaleźli odsłonięte źródła ze strontem-90, pochodzące z generatorów termoelektrycznych.

Ze współcześnie produkowanych mierników układ ze zdejmowanym filtrem stosują nieliczne dozymetry, zwykle z wyższej półki. Przykładem może być ukraińska Terra P (wszystkie wersje) i niemiecki Gamma Scout — dozymetr ten ma nawet dwie przysłony, osobno dla emisji alfa i beta, gdyż zastosowano w nim okienkowy licznik G-M czuły na wszystkie 3 rodzaje promieniowania. Niestety oba filtry są dość cienkie i przepuszczają niepożądane promieniowanie, gdyż jakość samego dozymetru zostawia wiele do życzenia. Warto też wspomnieć o białoruskim RKS-107, następcy RKS-104

Układ ten częściej stosowano w starszych konstrukcjach. Są to mierniki stosowane w polskim przemyśle jądrowym (RK-60, RK-67, RK-67-3, RK-21), albo nieliczne radzieckie dozymetry poczynobylskie, ale z wyższej półki: ANRI 01-02 Sosna, RKS-20.03 Pripjat, RKS-104 Radian i RKGB-01 Gorin.

W powyższych przyrządach użyto trzech różnych sposobów montażu filtra. Najczęstszy jest filtr nakładany na okienko pomiarowe i trzymający się na nim za pomocą zatrzasku. To rozwiązanie możemy spotkać w dozymetrze Terra-P oraz w radzieckich RKS-20.30 Pripjat, RKS-104 i RKGB-01 Gorin. Jego główną wadą jest możliwość zgubienia zdjętego filtra, co rozwiązano w ANRI 01-02 Sosna, mocując filtr na zawia-

sie. Rzadziej występuje filtr wbudowany w dozymetr i nasuwany na okienko pomiarowe za mocą dźwigni lub przycisku. Ze współczesnych przyrządów można wymienić praktycznie tylko dozymetr Gamma Scout, w którym obrót przełącznika nasuwa na okienko licznika filtr promieniowania alfa, beta, bądź zostawia je odsłonięte. Z kolei w pierwszym polskim kieszonkowym radiometrze — RK-60 z początku lat 60 — ruch przycisku na przednim panelu przesuwiał przesłonę, odsłaniającą szczeliny w obudowie miernika. Warto jeszcze wspomnieć o dwustronnych sondach pomiarowych, znanych głównie z radiometrów RK-67, RK-67-3 i RK-21 produkcji Zjednoczonych Zakładów Urzędzeń Jądrowych „Polon”. W tym przypadku po jednej stronie licznika G-M znajduje się filtr, a po drugiej okienko pomiarowe. W zależności od tego, czy mierzymy emisję łączną, czy tylko gamma, zwracamy sondę odpowiednią stroną w kierunku źródła. Rozwiązanie takie ograniczone jest jednak tylko do mierników z osobną sondą, natomiast pomiar emisji beta w jednostkach mocy dawki będzie w rzeczywistości tylko indykacją z powodów, które wymieniłem wyżej. Sonda dwustronna nie sprawdzi się też w przypadku przestrzennego pola promieniowania, otaczającego detektor ze wszystkich stron. W takim wypadku lepsze będzie rozwiązanie stosowane w wojskowych rentgenoradiometrach, zarówno polskich (DP-66, DP-75), jak i radzieckich (seria DP-5). W tych miernikach filtr



Fot. 3. Dozymetr RKS-20.03 Pripjat'. Widoczna klapka-filtr, osłaniająca detektory — dwa liczniki G-M typu SBM-20
Photo 3. Dosimeter RKS-20.03 Pripjat \u0027. A visible flap-filter that covers the detectors — two G-M counters type SBM-20



Fot.4. Radiometr-dozymetr EKO-1 produkcji radzieckiej
Photo 4. EKO-1 radiometer-dosimeter of Soviet production

ma postać tulei obejmującej całą sondę, a do pomiaru beta należy go z niej zsunąć (DP-66 i DP-75) lub obrócić, by odsłonić okienko pomiarowe (seria DP-5). Zwykle jednak kieszonkowe dozymetry do użytku amatorskiego nie mają zewnętrznej sondy, zatem najbardziej praktyczne byłoby rozwiązanie z RK-60.

Dozymetry z licznikiem okienkowym

Odmianą radiometrów beta-gamma są jeszcze rzadsze (i droższe) dozymetry wykorzystujące okienkowy licznik G-M, zwykle typu *pancake*, czyli z okrągłym okienkiem, wyposażone w przesuwaną klapkę-filtr. W tym przypadku albo mierzymy tylko emisję gamma, albo łączną emisję alfa, beta i gamma. Gęstość powierzchniowa zastosowanego okienka mikowego wynosi zwykle 2-3 mg/cm², zatem jest ono przepuszczalne jedynie dla silniejszych cząstek alfa. Detektor taki wykazuje również większą czułość dla cząstek beta, zwykle już od 100 do 200 keV, w porównaniu z 500 keV liczników metalowych i 700 keV szklanych.

Urządzenia z tego rodzaju licznikiem występują w Polsce bardzo rzadko, z produkowanych obecnie warto wymienić:

- MKS-01CA1M
- RadiaScan 701A
- Genitron Mini Trace

- IMI Inspector Alert IA-V2
- Mazur PRM-9000

Licznik okienkowy był dość chętnie stosowany w ZSRR i Rosji nawet w dozymetrach klasy popularnej (MS-04B Expert), czy prostych indykatorach promieniowania (Poisk-2). Produkowano z nim również bardziej zaawansowane radiometry jak IRD-02 czy EKO-1. Z polskich konstrukcji warto wymienić laboratoryjny monitor skażeń EKO-C firmy Polon-Ekolab.

Zaletą układu jest znacznie większa czułość na słabe źródła, szybszy czas reakcji na zmiany mocy dawki, a także wykrywanie emisji alfa, która nie jest w stanie przeniknąć ścianek liczników metalowych i szklanych. Wadą, oprócz wysokiej ceny, jest również łatwość skażenia okienka mikowego. Jest ono trudne do czyszczenia z racji wrażliwości cienkiej miki oraz osłonięcia siatką ochronną o drobnych oczkach. Warto też postawić tutaj pytanie o faktyczny zysk na czułości przy zastosowaniu licznika okienkowego z okienkiem

2-3 mg/cm² względem układu 2 liczników SBM-20 (40 mg/cm²) przy pomiarze szkła uranowego, ceramiki z polewą uranową czy przedmiotów zawierających tor-232. Z moich obserwacji wynika, że zysk ten przy wspomnianych źródłach wynosi ok. 10 % na korzyść licznika okienkowego. Oznacza to, że większość z nich równie dobrze zidentyfikujemy za pomocą tańszego dozymetru na 2 licznikach SBM-20. W wielu przypadkach dozymetr z licznikiem okienkowym będzie swobodnym strzelaniem z armaty do wróbla.

W tym miejscu warto wspomnieć o jeszcze jednej konstrukcji, jaką jest Radex RD-1008 firmy Quarta Rad. Dozymetr ten wykorzystuje dwa okienkowe liczniki G-M typu *pancake*, z czego licznik Beta-2 ma okienko mikowe i jest odkryty, a drugi, Beta-2M z okienkiem metalowym, jest dodatkowo osłonięty ekranem. Wy-



Fot. 5. Dozymetr Radex RD1008 — z lewej zaznaczony środek licznika promieniowania gamma typu Beta-2M, z prawej licznik promieniowania alfa i beta typu Beta-2 z częściowo uchyloną osłoną
Photo 5. Radex RD1008 dosimeter — Beta-2M type gamma radiation counter with a partially opened cover on the right

nik pomiaru z każdego z nich jest podawany osobno — licznik zakryty mierzy moc dawki gamma w $\mu\text{Sv/h}$, natomiast odkryty — łączną emisję alfa i beta w rozpadach na minutę z centymetra kwadratowego. Dodatkowo zastosowano układ antykoincydencyjny, aby kwant gamma, który w tej samej chwili wywoła wyłączenia w obu licznikach, nie powodował podwójnego zliczenia impulsu.

Eliminuje to wady poprzednich układów, które nie rozróżniały rodzajów promieniowania i mierzyły „groch z kapustą”. Tutaj od razu wiemy, jaka moc dawki przypada na kwanty promieniowania gamma, a jaka aktywność na cząstki alfa i beta. Oczywiście pamiętajmy, że rozróżnienie nie jest ściśle i niektóre niskoenergetyczne kwanty gamma będą zliczane razem z cząstkami beta i alfa. Tym niemniej jest to szczególnie cenne np. w terenie skażonym, w którym warto wiedzieć, czy promieniowanie pochodzi od izotopów związanych w glebie, czy znajdujących się na powierzchni ziemi, roślin i budynków. Pozwala również przekonać się o faktycznym składzie promieniowania ceramiki z glazurą uranową czy szkła uranowego i wyeliminować wspomniane wyżej „wyniki” rzędu 150 $\mu\text{Sv/h}$. Pod względem ochrony radiologicznej jest to układ idealny. Jeśli jednak chcemy mierzyć aktywność i moc dawki od punktowych źródeł promieniowania, korzystniejsze byłoby zastosowanie dwuczęściowego licznika G-M, łączącego w jednej obudowie licznik okienkowy i tradycyjny, umieszczony za nim i odpowiednio ekranowany. Dzięki temu do drugiego licznika, znajdującego się za licznikiem okienkowym, docierałyby tylko kwanty gamma. Dodatkowa, cienka przesłona mogłaby być nasuwana na okienko celem odcięcia cząstek alfa. Zastosowanie takiego rozwiązania rozszerzyłoby użyteczność przyrządu przy amatorskiej dozymetrii, nie likwidując jego zastosowania w ochronie radiologicznej. Powstałby wtedy dozymetr uniwersalny, łączący potrzeby obu najważniejszych grup użytkowników sprzętu dozymetrycznego klasy popularnej.

Dozymetry promieniowania gamma

Ostatnią grupą, o której wypada wspomnieć, są radiometry gamma, w których schowany w obudowie licznik G-M jest dodatkowo owinięty folią ołowianą, wyrównującą charakterystykę energetyczną. Spośród obecnie produkowanych przyrządów nie znalazłem żadnego, w którym by zastosowano ten układ. Najbliższy byłby japoński Air Counter S, jednak wykorzystuje on detektor półprzewodnikowy w postaci czterech diod PIN, zatem ich metalowa osłona służy głównie do ekranowania od pola elektromagnetycznego i przepuszcza silniejszą emisję beta.



Fot. 6. Indykator promieniowania gamma IRG-01A
Photo 6. IRG-01A gamma radiation indicator

Dawniej ten układ był bardzo popularny, gdyż pozwalał na produkcję prostych, tanich mierników jednoznacznie informujących o mocy dawki najbardziej niebezpiecznego promieniowania, czyli gamma. Pomiar beta niepotrzebnie komplikowałby obsługę, a błędna interpretacja wyników, zawyżonych przez pomiar beta i niskoenergetyczną emisję gamma, mogłaby wywołać panikę. Dozymetry takie albo podawały wynik na wyświetlaczu LCD, albo jedynie informowały zapaleniem odpowiedniej diody LED o bezpiecznym (do 0,6 $\mu\text{Sv/h}$), podwyższonym (0,6-1,2 $\mu\text{Sv/h}$) i niebezpiecznym (powyżej 1,2 $\mu\text{Sv/h}$) poziomie promieniowania. Najprostsze miały tylko sygnalizację za pomocą dźwięków z głośniczka i błysków świetlnych. Duża ich liczba nadal jest dostępna na polskim rynku wtórnym, choć ich zastosowanie ogranicza się jedynie do oceny indywidualnego narażenia na promieniowanie gamma i pomiaru bardziej aktywnych emiterów tego promieniowania. Mierniki to m.in.

- DBG-011 Bieła,
- DBG-01N Bieła (wersja na 2 licznikach, z rozszerzonym zakresem pomiarowym),
- Master-1,
- DBGB-01U Fon,
- Palesse 26K-86,
- Jupiter SIM-05,
- DBGB-04,
- Gryf-1,
- Sinteks DBG-01S,
- DBG-04A,

Indykatory zaś to:

- SIM-01NB,
- SIM-03,
- DBG-0,5B,
- Bierieg IRI-1,
- IRG-01A.

Podsumowanie

Przedstawiłem główne układy konstrukcyjne dozymetrów klasy popularnej, z którymi można się obecnie zetknąć. Powstaje pytanie, jakie znaczenie praktyczne ma wybór zastosowanego układu? Odpowiedzią niech będzie zestawienie wyników uzyskanych podczas pomiaru mocy dawki od soczewki zawierającej dodatek toru-232. Jest to izotop, który wraz ze swymi produktami rozpadu emituje wszystkie trzy rodzaje promieniowania: alfa, beta i gamma. Spójrzmy najpierw na radiometry beta-gamma, w większości wykorzystujące licznik G-M typu SBM-20. W zestawieniu na pierwszej pozycji podano pomiar gamma, na drugiej łączny, beta+gamma. Wszystkie wyniki przeliczono na $\mu\text{Sv/h}$, gdyż niektóre mierniki mierzą w milirentgenach na godzinę:

- Polaron Pripyat - 5,5/33 $\mu\text{Sv/h}$,
- ANRI 01-02 Sosna - 3/27 $\mu\text{Sv/h}$ (wersja z 2 licznikami blisko siebie),
- ANRI 01-02 Sosna - 2,2/10 $\mu\text{Sv/h}$ (wersja z 2 licznikami daleko od siebie),
- RK-67 - 4/25 $\mu\text{Sv/h}$,
- RK-21C - 4/8 $\mu\text{Sv/h}$ (zaniżenie przez mały licznik GM, przeznaczony dla wyższych mocy dawek),
- DP-5WB - 4/19 $\mu\text{Sv/h}$.

Łączny pomiar beta+gamma dozymetrami z częściowo odsłoniętym licznikiem G-M:

- Soeks Ecovisor 11 $\mu\text{Sv/h}$,
- LR-4011 - 11,5 $\mu\text{Sv/h}$,
- Rodnik 3 - 13 $\mu\text{Sv/h}$.

Pomiar radiometrem z detektorem zasłoniętym obudową, ale bez dodatkowego ekranowania:

- Radiatex MRD-2 - 8,5 $\mu\text{Sv/h}$,
- Air Counter S - 5,5 $\mu\text{Sv/h}$.

Jak widać, wyniki uzyskane dozymetrami z częściowo odsłoniętym lub całkiem zakrytym licznikiem G-M leżą gdzieś w połowie między wartością mocy dawki samego promieniowania gamma a łączną mocą dawki beta+gamma. Co ciekawe, pomiar nieskompensowanym licznikiem SBM-20, osłoniętym jedynie kratką w obudowie (Soeks Ecovisor F4), nie różni się znacznie od pomiaru osłoniętym kratką szklanym licznikiem skompensowanym energetycznie (Lerow LR-4011). Zatem taki pomiar nie informuje nas ani o „czystym” promieniowaniu gamma, gdyż do licznika dociera też część promieniowania beta, zawyżając wynik, ani o łącznej mocy dawki beta+gamma, gdyż jego część jest pochłaniana w przeszkodach między powierzchnią obudowy a objętością czynną licznika.

Jest to szczególnie istotne ze względu na znaczne różnice w procentowej zawartości promieniowania

gamma w widmie emitowanym przez najpowszechniej występujące radioizotopy, czyli uran naturalny (235 i 238), tor-232 i rad-226. W przypadku uranu naturalnego z ceramicznej polewy większość emisji przypada na miękkie promieniowanie gamma oraz beta. Udział „twardego” promieniowania jest bardzo niewielki, ale niskoenergetyczna emisja spowoduje zawyżony wzrost wskazań dozymetru. W przypadku naczyń z glazurą uranową wynik może wahać się od 20 do 150 $\mu\text{Sv/h}$, choć gdyby dozymetr był wyposażony w filtr odcinający niskoenergetyczną emisję, pomiar samego promieniowania gamma nie przekroczyłby 0,5 $\mu\text{Sv/h}$. Jeśli jednak ten sam poziom łącznej mocy dawki emitowany był przez tor-232, udział promieniowania gamma wyniesie już 10% emisji łącznej, natomiast w przypadku promieniowania radu-226 aż ok. 50%. Nie można zatem bezpośrednio porównywać wskazań emisji łącznej, jeśli chodzi o skutki biologiczne, gdyż dojdziemy do wniosku, że 30 $\mu\text{Sv/h}$ łącznej emisji z siatki żarowej Auera (Th-232) jest bardziej szkodliwe niż 10 $\mu\text{Sv/h}$ z kompasu Adrianowa (Ra-226). A tymczasem w przypadku siatki Auera promieniowanie gamma będzie stanowić 3 $\mu\text{Sv/h}$ z 30 $\mu\text{Sv/h}$, a przy kompasie Adrianowa 5 $\mu\text{Sv/h}$ z 10 $\mu\text{Sv/h}$. Co innego, gdy wykonamy dwa pomiary (gamma+beta, sama gamma) i będziemy wiedzieć, jaki procent łącznej emisji przypada na emisję gamma. Stąd też potrzeba filtra, odcinającego promieniowanie beta i umożliwiającego wykonanie pomiaru samej emisji gamma, a następnie porównanie z łącznym pomiarem. Oczywiście pamiętajmy, że pomiar promieniowania beta w jednostkach mocy dawki będzie miał tylko znaczenie orientacyjne z uwagi na konieczność indywidualnej kalibracji dla energii emisji beta danego izotopu.

Jaki dozymetr ostatecznie wybrać?

Aby ocenić przydatność poszczególnych układów konstrukcyjnych, trzeba najpierw postawić pytanie o przeznaczenie danego dozymetru. Amatorski sprzęt dozymetryczny służy głównie do poszukiwania przedmiotów codziennego użytku zawierających izotopy promieniotwórcze oraz pokazów popularnonaukowych z ich użyciem. W mniejszym stopniu używany jest do oceny indywidualnego narażenia na promieniowanie jonizujące, głównie podczas lotów samolotami czy wycieczek na tereny o podwyższonym poziomie promieniowania. W pierwszym przypadku liczy się głównie duża czułość i szybki czas reakcji na zmiany mocy dawki. Zawyżenie wyniku przez niskoenergetyczne promieniowanie, charakteryzujące odsłonięty, nieskompensowany licznik G-M, może być nawet pewną zaletą, jeśli mierzymy moce dawek nieznacznie przekraczające tło naturalne i zależy nam na szybkim, jednoznacznym pomiarze. Sytuacja taka najczęściej występuje przy szkłe uranowym o niewiel-

kiej aktywności, zwykle produkowanym z użyciem uranu zubożonego, którego aktywność właściwa jest o połowę mniejsza niż uranu naturalnego. Łączna moc dawki mierzona dozymetrem Pripjat' (2 odsłonięte liczniki SBM-20) przy tych wyrobach zawiera się pomiędzy 0,3 a 0,7 $\mu\text{Sv/h}$, zaś wynik w tym mierniku ustalony jest już w czasie jednego okresu uśredniania, trwającego 20 s. Użycie pojedynczego licznika SBM-20, osłoniętego kratką, zmniejsza ten wynik do połowy, przy dwukrotnym wydłużeniu czasu pomiaru. Pojedynczy licznik szklany M4011 osłonięty kratką da podobny wynik, jeśli jednak osłonimy go plastikiem, pomiar będzie oscylował na poziomie 0,2 $\mu\text{Sv/h}$ i choć będzie najbardziej zbliżony do rzeczywistego poziomu mocy dawki, to jego ustalenie się zajmie ponad minutę.

W przypadku ceramiki z glazurą uranową mierzona moc dawki jest znacznie wyższa, zarówno przez liczniki skompensowane energetycznie, jak i bez kompensacji, choć przy cienkiej warstwie glazury licznik nieskompensowany szybciej wykaże wzrost wyniku i będzie on wyraźniejszy. Jeszcze szybszy wzrost dawki zaobserwujemy, używając licznika okienkowego, jest on jednak nieporównywalnie droższy i bardziej wrażliwy na uszkodzenia.

Podsumowując, przy zastosowaniu dozymetru do poszukiwań źródeł lepiej wybrać przyrząd z nieosłoniętym metalowym licznikiem G-M, mając świadomość zawyżania przezeń wyniku.

Oczywiście mierząc tego typu dozymetrami, należy pamiętać o ich charakterystyce energetycznej i traktowaniu wyniku jako orientacyjnego, umożliwiającego szybką identyfikację źródła.

Jeśli zaś dozymetr ma służyć ocenie indywidualnego narażenia na promieniowanie, wówczas istotne jest skuteczne wyrównanie charakterystyki licznika G-M, aby uniknąć zawyżenia wyniku przez niskoenergetyczne promieniowanie gamma. Wymaga to zastosowania ekranu (stałego lub zdejmowanego) albo licznika skompensowanego energetycznie, przy czym zdejmowany ekran umożliwi zastosowanie miernika również do poszukiwania źródeł. W tym wypadku oferta dozymetrów klasy popularnej jest znacznie uboższa z uwagi na znacznie mniejsze zapotrzebowanie. Większość użytkowników korzysta w tym celu z tych samych dozymetrów, co do poszukiwania źródeł, szczególnie że pomiar taki odbywa się okazjonalnie, a narażenie nie jest związane z pracą zawodową i służy jedynie własnej informacji. Dokładność pomiaru nie jest tutaj tak istotna, zwykle chodzi o orientacyjny pomiar łącznej dawki i wykrywanie „gorących

plam”, głównie podczas wycieczek do Czarnobylskiej Strefy Wykluczenia czy byłych kopalni uranu na Dolnym Śląsku. Brak kompensacji energetycznej jest też częściowo niwelowany przez dokonywanie pomiaru mocy dawki w powietrzu na wysokości 1 m, co częściowo osłabia niskoenergetyczną emisję.

Podsumowując, najbardziej uniwersalne zastosowanie dla amatora mają dozymetry beta-gamma z odejmowanym filtrem promieniowania beta. Niestety jedynym modelem dostępnym obecnie na rynku pierwotnym jest Terra P, w najtańszej wersji kosztująca 200 dol. Ceny dozymetrów 'Pripjat' z początku lat 90 oscylują między 400 a 500 zł z tendencją zwyżkową. Nowoczesne dozymetry z licznikiem okienkowym typu pancake kosztują powyżej 300 dol. Alternatywą mogą być mierniki z odsłoniętym detektorem, jeśli używamy ich głównie do poszukiwań, a nie do dozymetrii indywidualnej. Koszt tych przyrządów waha się między 200 a 400 zł. Jeśli jednak interesuje nas orientacyjna wielkość przyjętej dawki podczas przebywania na terenie skażonym, niewielką przewagą będą mieć mierniki z licznikiem zasłoniętym ścianką obudowy.

*Łukasz Karolewski,
autor bloga popularnonaukowego
promieniowanie.blogspot.com*

Literatura:

- [1] Aparatura jądrowa – informator techniczny, Warszawa brw [1961]
- [2] Aparatura jądrowa – informator techniczny, Warszawa brw [1963]
- [3] B. Gostkowska, A. Skłodowska, Promieniowanie jonizujące a człowiek i środowisko, Warszawa 1994
- [4] G. Jezierski, Radiografia przemysłowa, Warszawa 1993
- [5] A. Piątkowski, W. Scharf, Aparatura radiometryczna w medycynie i biologii, Warszawa 1972
- [6] A. Piątkowski, W. Scharf, Elektroniczne mierniki promieniowania jonizującego, Warszawa 1979
- [7] Katalog podstawowego sprzętu obrony cywilnej, Warszawa 1981
- [8] Izotopowa aparatura przemysłowa i radiometryczna – katalog 37-R, Warszawa 1969
- [9] Współczesne metody detekcji promieniowania w zastosowaniach cywilnych i wojskowych – seminarium, Warszawa 2005
- [10] Blog popularnonaukowy: dozymetria.wordpress.com
- [11] Blog popularnonaukowy: promieniowanie.blogspot.com
- [12] Blog popularnonaukowy: <http://c4r0.byethost9.com/>
- [13] Fora internetowe: strefazero.org.pl
- [14] Fora internetowe: forum.rhbz.org

KRÓTKA HISTORIA NAGRÓD NOBLA

A brief history of the Nobel Prizes

Małgorzata Sobieszczak-Marciniak

Streszczenie: Nagrody Nobla wręczane są od 1901 r. dzięki ich twórcy i fundatorowi, Alfredowi Noblowi. W swoim testamencie spisanym 125 lat temu, w 1895 r. we włoskim San Remo, na rok przed śmiercią wynalazca dynamitu spisał wyraźnie swoją wolę dotyczącą ogromnego majątku, który udało mu się zgromadzić przez 63 lata niezwykle aktywnego i pracowitego życia. Wymienił 5 dziedzin, które miały być nagradzane, podając wyraźne wskazówki, czym powinni się kierować członkowie jury. Wskazał także osoby i instytucje, które miały być odpowiedzialne za realizację jego testamentu. W każdym, przypadku kierował dobrem ludzkości. Tekst prezentuje kulisy powstawania i przyznawania nagród Nobla oraz sylwetki niektórych nagrodzonych.

Abstract: The Nobel Prizes have been awarded since 1901 thanks to their founder and founder, Alfred Nobel. In his will, written 125 years ago, in 1895 in San Remo, Italy, a year before his death, the inventor of dynamite clearly wrote down his will regarding the enormous fortune that he had accumulated over 63 years of extremely active and hardworking life. He listed 5 areas that were to be awarded, giving clear guidelines on what should be followed by the members of the jury. He also indicated the persons and institutions that were to be responsible for the implementation of his will. In any event, he guided the welfare of mankind. The text presents the background of the creation and awarding of the Nobel Prizes and the profiles of some of the winners.

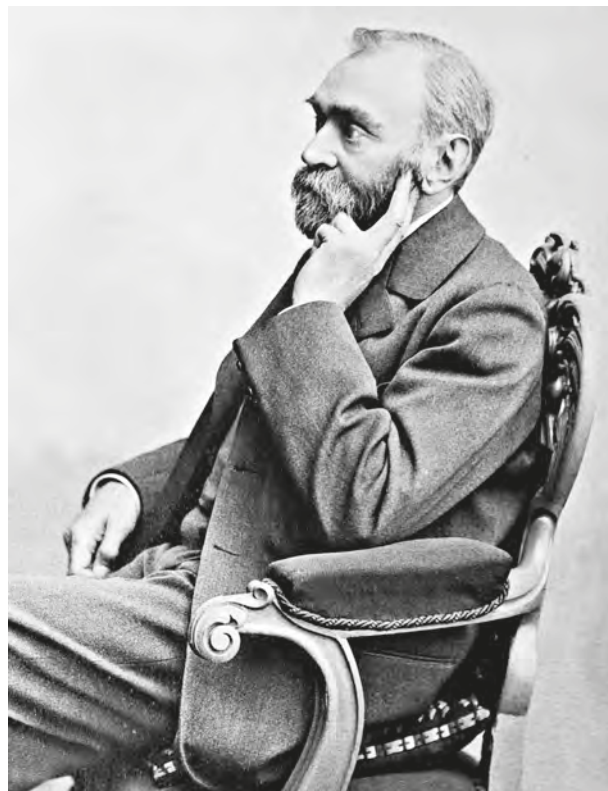
Słowa kluczowe: Alfred Nobel, fundacja noblowska, nagrody, testament, nagroda literacka, nagroda pokojowa

Keywords: Alfred Nobel, Nobel Foundation, Awards, Testament, Literary Prize, Peace Prize

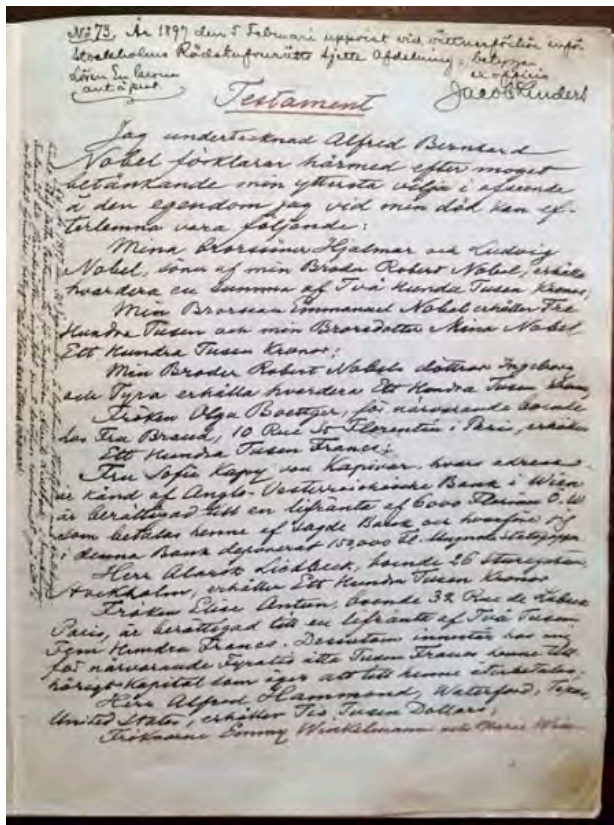
„Ja niżej podpisany, Alfred Bernhard Nobel, oświadczam niniejszym po długiej rozwadze, iż moja ostatnia wola odnośnie majątku, jest następująca. Wszystkie pozostałe po mnie, możliwe do zrealizowania aktywa, mają być rozdysponowane w sposób następujący: kapitał zostanie przez egzekutorów ulokowany bezpiecznie w papierach tworzących fundusz, którego procenty każdego roku mają być rozdzielone w formie nagród tym, którzy w roku poprzedzającym przynieśli ludzkości największe korzyści...”

„Jedna część dla osoby, która dokonała bardzo ważnego odkrycia na polu fizyki, jedna część dla osoby, która dokonała bardzo ważnego chemicznego udoskonalenia bądź odkrycia, jedna część dla osoby, która dokonała bardzo ważnego odkrycia w dziedzinie fizjologii i medycyny, część dla twórcy, najwybitniejszego dzieła literackiego o tendencji idealistycznej, część temu, kto dokonał rzeczy najlepszej lub najwięcej przyczynił się do braterstwa pomiędzy narodami i znoszenia, lub ograniczenia istniejących armii oraz do zwoływania i rozpowszechniania kongresów pokojowych. Nagrody w dziedzinie fizyki i chemii przydzielać będzie Szwedzka Akademia Nauk; nagrody za prace w dziedzinie fizjologii czy medycyny – Karoliński Instytut (Królewski Karoliński Instytut Medyczno-Chirurgiczny) w Sztokholmie; w dziedzinie literatury – Akademia w Sztokholmie, a za działalność na rzecz pokoju – komisja składająca się z pięciu osób wybieranych przez norweski parlament Storting. Jest moim wyraźnym życzeniem, aby podczas przyznawania nagród nie brano w żaden sposób pod uwagę narodowości kandydatów, tak by najbardziej zasługujący otrzymał nagrodę, czy jest on Skandynawem,

czy nie. Wykonawcami tego testamentu mianuję pana Ragnara Sohlmana, zamieszkałego w Boforsie oraz pana Rudolfa Liljecjuista, zamieszkałego w Sztokholmie. [...]



Fot. 1. Alfred Nobel (1833-1896)
Photo 1. Alfred Nobel (1833-1896)



Fot. 2. Testament Alfreda Nobla 1895
Photo 2. The last will of Alfred Nobel 1895

[...] Testament ten jest odtąd jedynym ważnym dokumentem i unieważnia wszystkie moje wcześniejsze ustanowienia spadkowe, o ile takie miałyby się odnaleźć po mojej śmierci.

Wreszcie oznajmiam tu swoje wyraźne życzenie i niezachwianą wolę, aby po mojej śmierci żyły na rękach zostały otwarte, a po orzeczeniu przez kompetentnych lekarzy wyraźnych oznak śmierci, spalono zwłoki w tak zwanym krematorium. Paryż 27 listopada 1895 r."

Swoją ostatnią wolę Alfred Nobel spisał mniej więcej rok przed swoją śmiercią (zmarł 10 grudnia 1896 r. w swoim domu w San Remo we Włoszech na atak serca). Testament był zwięzły, konkretny, spisany odręcznie w języku szwedzkim na czterech kartkach papieru. Właściwie, poza jednym zdaniem całkowicie dotyczył jego ogromnego kapitału zgromadzonego w ciągu trwającego 63 lata niezwykle pracowitego życia. Alfred Nobel bał się, żeby nie zostać pochowanym za życia, stąd w testamencie zdanie na temat podjęcia żył. Uczony nie miał najbliższej rodziny, miał jednak świadomość ogromu swego majątku (było to 31 mln koron szwedzkich, co w przeliczeniu na dzisiejsze wartości dałoby sumę 1,5 mld). Na szczęście miał także ogromne poczucie odpowiedzialności i myślał perspektywicznie. Testament, jak można było się tego spodziewać, był podważany przez prawników potencjalnych spadko-

bierców Nobla, którzy nie mogli się pogodzić z tym, że ucieka im sprzed nosa tak wielka fortuna. Podważano stan umysłu Nobla, doszukiwano się objawów demencji, czy celowego działania na szkodę rodziny. Zresztą o prawnikach, Alfred Nobel miał niezbyt dobre zdanie. Nazywał ich pijawkami, a najgorzej wyrażał się o dziennikarzach, mówiąc; „wszy, to błogosławieństwo w porównaniu z tymi dwużoźnymi zarazkami dżumy...”. Nie wiem, jakie konkretnie miał doświadczenia w relacjach z dziennikarzami, ale chyba musiały być bardzo nieprzyjemne, skoro używał takich określeń. Może warto tu przywołać opinię innej uczoney, Marii Skłodowskiej-Curie także na temat dziennikarzy. Uważała ona bowiem, że są niedouczeni, przekraczają fakty, czyhają tylko na tanią sensację. Według niej rzadko można było trafić na solidnego, profesjonalnego, chcącego słuchać dziennikarza. Może więc coś było na rzeczy?

Jak wspominałam, treść testamentu próbowano podważyć, zarówno zresztą w Szwecji, jak i w Norwegii. Na szczęście dzięki uporowi i zaangażowaniu wspomnianych w testamencie osób oraz jednego z bratanków Nobla, utworzono specjalny fundusz. W czerwcu 1900 r. powstała w Sztokholmie Fundacja Nobla, której przekazano wszystkie aktywa zgromadzone przez Alfreda Nobla i która zarządza do tej pory pieniędzmi zgromadzonymi przez uczonego, przeznaczając procenty na wypłacanie nagród. Testament został zdeponowany w sejfie Fundacji, a po raz pierwszy pokazano go publicznie w 2015 r. w Muzeum Noblowskim, w 120 rocznicę jego powstania. Kilka lat temu podczas mego pobytu w Szwecji i poszukiwań związanych z osobą Alfreda Nobla, miałam przyjemność poznać szefa Fundacji Nobla, potomka Regnara Sohlmana.

Czytając dziś treść ostatniej woli Alfreda Nobla, mnie osobiście, sformułowania w niej zawarte wydają się nieco naiwne. Bo jak ocenić np. takie: „najważniejszy wynalazek, najważniejsze odkrycie, najważniejsze ulepszenie, najwybitniejsze dzieło”? Paradoksalnie wskazania przyznania do pokojowej Nagrody Nobla powinny być najbardziej czytelne, „temu, kto dokonał rzeczy najlepszej, lub najwięcej przyczynił się do braterstwa pomiędzy narodami i znoszenia, lub ograniczenia istniejących armii oraz do zwoływania i rozpowszechniania kongresów pokojowych”. A jednak okazuje się, że ta właśnie nagroda budzi najwięcej kontrowersji, że w jej przyznawaniu widzi się najwięcej manipulacji czy działań tzw. politycznych. Ale o tym za chwilę...

Alfred Nobel był idealistą, był także romantykiem. Chciał wierzyć i wierzył w człowieka, wierzył w mądrość i dobroć homo sapiens. Kiedy w 1905 r. małżonkowie Curie odbierali przyznaną im w 1903 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki, Piotr Curie w przemowie noblowskiej powołał się na słowa twórcy nagrody: „Jestem z tych, którzy, tak jak Nobel, wierzą, że ludzkość wyko-

rzysta odkrycia naukowe dla swojego dobra". Tu także okazało się, że zarówno Alfred Nobel, jak i Piotr i Maria Curie byli idealistami. Alfred Nobel był autorem 355 patentów, w tym na sztuczne włosy, sztuczną skórę, systemy alarmowe oraz te najbardziej dla niego samego kontrowersyjne, zapalnik Nobla i potem dynamit. Mawiał, że jeśli w ciągu roku ma 300 pomysłów, a zrealizuje jeden, czuje się usatysfakcjonowany.

Produkcją bomb, pocisków, min morskich i karabinów zajmował się ojciec Alfreda, Immanuel, który dzięki tej działalności właśnie stał się potentatem w tej dziedzinie. Był on także pionierem w produkcji silników parowych. Dzięki doskonałym warunkom finansowym młody Alfred otrzymał gruntowne wykształcenie w zakresie nauk ścisłych (chemia, fizyka, matematyka), znał francuski, angielski, pisał także wiersze. Wybrał jednak ścieżkę wynalazcy. W 1864 r. miał na swoim koncie pierwszy patent tzw. zapalnik Nobla, a dwa lata później, kolejny, zwany dynamitem, który znalazł zastosowanie w budowie dróg, mostów, tuneli.

Praca nad dynamitem, nitrogliceryną przyniosła Alfredowi Noblowi ogromny majątek, otwierał swoje fabryki i przedsiębiorstwa na całym świecie. Mimo tych sukcesów pisał w 1883 r. do agencji eksportu w Wielkiej Brytanii: „Absolutnie chcę się wycofać z biznesu i nie mieć z nim nic do czynienia. Nic nie rozumiem z kontaktów i koterii. Dręczy mnie rola negocjatora pokojowego w tym gnieździe sępów. [...] Jestem chory ciągłym handlem materiałów wybuchowych, w którym ciągle zdarzają się wypadki, zmęczony przepisami ograniczającymi, biurokracją, pedantami i łotrostwem. Tęsknię za ciszą, chcę poświęcić swój czas na badania naukowe, co jest niemożliwe, gdy każdy dzień przynosi nowe zmartwienie. [...]”. Chyba właśnie to miała na myśli Maria Skłodowska-Curie, kiedy w jednym z listów do rodziny pisała po otrzymaniu pierwszej Nagrody Nobla, że nie mogą pracować, nie mają spokoju, wszędzie pełno dziennikarzy i hałasu. Chichot historii, Alfred Nobel będąc uczonym, któremu przeszkadzał rozgłos, ufundował nagrodę, która w przyszłości innym uczonym przyniesie oprócz prestiżu i majątku, także sławę utrudniającą życie i pracę.

Co kierowało twórcą najważniejszej, najbardziej prestiżowej naukowej i literackiej nagrody, że wybrał te właśnie dziedziny naukowe? Dlaczego nie ma Nagrody Nobla z matematyki czy ekonomii? Tu należy wyjaśnić pewne szczegóły. Otóż anegdota głosi, że Nobel celowo nie wpisał do swego testamentu matematyki, ponieważ zrobił to na złość pewnemu matematykowi. Cóż, w każdej opowieści może być ziarno prawdy, ale też wydaje mi się, że matematyka, rozwiązania matematyczne były wtedy bardziej narzędziami wspomagającymi inne nauki. Poza tym nagroda miała według testamentu trafiać do tych, którzy swoimi działaniami

mi przyczynili się do dobra ludzkości, czyli nagradzać rozwiązania praktyczne. Współcześni matematycy nie pozostali bez nagrody, ponieważ najlepszym matematykom przyznaje się Nagrodę Abela (nazywaną czasem Matematycznym Noblem). Nazwa nagrody pochodzi od nazwiska norweskiego matematyka, Nielsa Abela (1802-1829) który, choć zmarł w wieku 27 lat, zapewnił sobie trwałe miejsce w historii matematyki. Otóż udowodnił on, że można udowodnić nierozwiązywalność jakiegoś równania. Choć matematycy cenią sobie bardziej Medal Fieldsa, to wiąże się z nim równowartość „tylko” 15 tys. dolarów, zaś Nagroda Abela to kwota ok. 6 mln koron norweskich (ok. 750 tys. euro), nie ma kryterium wiekowego i jest przyznawana co roku. Medal Fieldsa, ustanowiony w roku 1924 przyznawany jest co cztery lata, a laureaci nie mogą mieć więcej niż 40 lat. Pierwszą kobietą nagrodzoną tą nagrodą jest irańska matematyczka, 37-letnia Maryam Mirzakhani. Nagrodę otrzymała wraz z trzema innymi uczonymi w roku 2014.

Nagroda Abela (Fundacja Abela) powstała w roku 2002, a jej fundusz został utworzony przez rząd norweski. Wśród laureatów znajdziemy jedną kobietę, Karen Uhlenbeck, która otrzymała ją w roku 2019.

Co do ekonomii zaś, zachodzi tu pomyłka wynikająca ze stosowania pewnego skrótu myślowego. Otóż od 1968 r. przyznaje się Nagrodę Banku Szwecji im. Alfreda Nobla w dziedzinie nauk ekonomicznych. Nagroda jest przyznawana przez Komitet Noblowski, ale pieniądze nie pochodzą z konta Fundacji Noblowskiej, o tej nagrodzie nie wspominał oczywiście Alfred Nobel w swym testamencie. Jej ustanowienie wydaje mi się być swoistym znakiem czasu. Wśród nagrodzonych tą nagrodą są dwie kobiety. W 2019 r. dostała ją E. Duflo wraz z M. Kremerem i A. Banerjee za eksperymentalne podejście do łagodzenia ubóstwa na świecie, a wcześniej w roku 2009 E. Ostrom wraz O. E. Williamsonem za analizę ekonomicznych aspektów zarządzania. I matematyka i ekonomia, jako nauki bardziej teoretyczne niż praktyczne choćby z tego powodu nie znalazły się na liście Alfreda Nobla.

Utworzenie przez Alfreda Nobla pokojowej nagrody jest uzewnętrznieniem osobistych poglądów jej twórcy oraz związane jest z pewnym przypadkiem. Ktoś powie, Alfred Nobel, wielki pacyfista, który całe życie eksperymentował z dynamitem i nitrogliceryną, który wzbogacił się na produkcji i handlu materiałami wybuchowymi, poczuł wyrzuty sumienia? Trochę tak to może wyglądać, ale pamiętajmy, że materiały wybuchowe, proch służą i służyły nie tylko do zabijania. Dzięki nim można budować mosty, drogi, wysadzać skały, aby drążyć w nich tunele. Gdyby odpowiedzialnością za to, jak ludzie wykorzystują odkrycia naukowe obciążać uczonych i wynalazców, to albo nie byłoby odkryć

wcale, a co za tym idzie, nie byłoby rozwoju cywilizacyjnego, albo uczeni popełnialiby masowe samobójstwa. To oczywiście mocno zawężone spojrzenie, ale można zadawać sobie pytanie, czy wszystkie odkrycia naukowe powinny być rozpowszechniane, czy jest jakaś granica prowadzenia badań, co z etyką uczonego w tym zakresie. Alfred Nobel miał jednak poczucie, że pośrednio przyczynił się do rozwoju produkcji broni, a co za tym idzie, ułatwił ludziom wzajemne niszczenie się. Jednak pewnych rzeczy pewnie nie da się zatrzymać, należy próbować tworzyć instytucje, wspierać edukację, nie walcząc o pokój, a propagując działania pokojowe. Kolejny powód był trochę bardziej prozaiczny. Otóż wiele pracując i dużo podróżując, Nobel potrzebował sekretarki. W roku 1876 napisał słynne już ogłoszenie do gazety. „Bogaty, wykształcony, starszy dżentelmen szuka pani w dojrzałym wieku, biegłej w językach jako sekretarki i gospodyni domu”.



Fot. 3. *Baronowa Bertha von Suttner (1843-1914)*
Photo 3. *Baroness Bertha von Suttner (1843-1914)*

Zgłosiła się Bertha Kinsky. Pracowała u Nobla krótko, ale zdążył on bardzo się do niej przywiązać, a nawet zakochać. Bertha Kinsky była inteligentną, czytającą, odważną kobietą. Doskonałą kandydatką nie tylko na sekretarkę, ale także na żonę. Jednak serce młodej Berthy należało od jakiegoś czasu do młodszego od niej o 7 lat Arthura von Suttnera, którego zresztą uczyła

wcześniej w Wiedniu jako guwernantka. Kiedy uczucie wyszło na jaw, została zwolniona z pracy i wyjechała do Francji, gdzie w paryskiej prasie znalazła ogłoszenie Nobla. Kiedy Arthur von Suttner na przekór swoim rodzicom wyraził chęć jej poślubienia, postanowiła wrócić do Wiednia i związać się z ukochanym. Pozostała jednak w przyjaźni z Noblem, do końca życia, ich korespondencja trwała 20 lat. Losy rzuciły Berthę wraz z mężem do Gruzji, tam też zastała ich wojna rosyjsko-turecka. Tam także zainteresowała się ruchami pacyfistycznymi. Napisała książkę pt. „Precz z orężem”, w której opisała okropności wojny i cierpienia, jakie ze sobą niesie. Książkę przetłumaczono na wiele języków, także na polski. W 1892 r. założyła Austriackie Towarzystwo Pokoju, zaś jej mąż Stowarzyszenie przeciw antysemityzmowi. Oboje bardzo angażowali się w działalność na rzecz pokoju. Okazało się, że Bertha von Suttner potrafi swoimi przemówieniami porwać tłumy. Jeździła na kongresy po Europie i USA. Uważała, że należy ograniczyć produkcję broni i liczbę armii na świecie, organizować kongresy, konferencje pokojowe, pisać. Według Alfreda Nobla, aby zachować pokój należało zrównoważyć siły militarne. Bertha von Suttner była idealistką i mocno stojącą na ziemi działaczką pokojową. Wydaje się, że to właśnie ona przekonała Nobla do utworzenia pokojowej Nagrody Nobla i takiego, a nie innego sformułowania w testamencie. Przypomnijmy. Nagroda miała trafić do tych, którzy wykonali największą lub najlepszą pracę na rzecz braterstwa między narodami, likwidacji bądź ograniczenia stałych armii i udziału oraz promowania kongresów pokojowych. 10 grudnia 1905 r. pokojową Nagrodę Nobla otrzymała Bertha von Suttner. Pierwsza nominacja do tej nagrody wpłynęła już w 1897 r., zaś pierwszą nagrodę wręczono w roku 1901 i otrzymali ją Frederic Passy, jeden z głównych założycieli Unii Międzyparlamentarnej i współorganizator pierwszego kongresu pokojowego i Henri Jean Dunant założyciel Czerwonego Krzyża i twórca Konwencji Genewskiej. Jest to jedyna nagroda ufundowana przez Alfreda Nobla przyznawana przez instytucję norweską, parlament norweski Storting. Jaki jest powód? Otóż w czasie tworzenia testamentu przez Nobla Szwecja i Norwegia pozostawały w unii politycznej. Parlament norweski popierał idee pokojowe (konceptje rozbrojenia i arbitralnego rozwiązywania konfliktów między państwami). Kandydaty zgłaszane są do Norweskiego Komitetu Noblowskiego, poddawane są ocenie specjalistów i zazwyczaj w połowie września zapada werdykt. Nazwisko osoby mającej otrzymać nagrodę podawane jest do powszechnej wiadomości na początku października. Pokojową Nagrodę Nobla przyznano dotychczas 101 razy. Były wśród nominacji nazwiska, które zadziwiają. Dwa razy (w roku 1945 i 1948) nominowano Józefa Stalina ze wskazaniem za dążenie do zakończenia II wojny światowej, a było to już po Wielkim Głodzie na Ukrainie!!!!!! Adolfa Hitlera

nominował w 1939 r. członek norweskiego parlamentu, zadeklarowany antyfaszystka jako *ironiczną krytykę* ówczesnej debaty politycznej w Szwecji. Pięciokrotnie nominowano Mahatmę Ghandiego, jednak jego kandydatura upadała z powodu kontrowersji, jakie wzbudzały jego metody. Ostatecznie ostatnia nominacja wpłynęła w styczniu 1948 r., niedługo przed zamachem, a ponieważ Nagrody Nobla przyznawane są tylko osobom żyjącym, rozważano przyznanie jej pośmiertnie. Zrezygnowano jednak z tego pomysłu i w roku 1948 nagrody nie przyznano. Statut Fundacji przewiduje, że w przypadku nieprzyznania nagrody w danym roku środki pieniężne przechodzą na rok następny. Nie przyznawano ich także w okresie I i II wojny światowej i innych latach. Według statystyk Norweskiego Komitetu Noblowskiego osobą najczęściej nominowaną była nagrodzona w roku 1931, amerykańska socjolog Jane Addams. W latach 1916-1931 nominowano ją aż 91 razy. Opowiadała się za zakończeniem I wojny światowej na drodze mediacji, była zdeklarowaną pacyfistką, feministką, starała się o utworzenie sądów dla nieletnich, broniła praw kobiet, czarnoskórych, emigrantów, walczyła o ośmiogodzinny dzień pracy dla kobiet. Nominowane i nagradzane mogą być organizacje, instytucje, osoby prywatne działające zgodnie z wolą twórcy testamentu. Do tej nagrody w roku 1934 nominowany był także Marszałek Józef Piłsudski. Wśród nagrodzonych pokojową Nagrodą są osoby, które budzą pewne kontrowersje, jak np. Michaił Gorbaczow, Jasir Arafat, Icchak Rabin, Al. Gore, Barack Obama. Wydaje mi się, że ta nagroda jest najbardziej „obciążona politycznie”, jest też najbardziej narażoną na manipulację czy wpływy polityczne nagrodą. Nominacje oraz nazwiska nominujących i wszystkie informacje dotyczące nominacji, tak publiczne, jak i prywatne, pozostają tajne przez 50 lat. Klauzula tajności zabrania również informowa-

nia samych nominowanych, nawet w prywatnych rozmowach. Jak pokazuje życie, to już tylko teoria. Teraz trochę statystyki. Wśród nagrodzonych jest dwóch Polaków. W roku 1983 nagrodę otrzymał Lech Wałęsa, jak podpisano na oficjalnej liście nagrodzonych „Lider związku zawodowego Solidarność”, a w 1995 r. fizyk, prof. Józef Rotblat wraz z Konferencją Pugwash w Sprawie Nauki i Problemów Światowych za „ich wysiłki na rzecz umniejszenia roli odgrywanej przez broń jądrową w polityce międzynarodowej i, w dłuższej perspektywie, do wyeliminowania takiej broni”.

Nagrodą wyróżnionych zostało łącznie 133 laureatów, w tym 107 to laureaci indywidualni, zaś 27 to organizacje, przy czym Międzynarodowy Komitet Czerwonego Krzyża był wyróżniony trzykrotnie, a urząd Wysokiego Komisarza Narodów Zjednoczonych ds. Uchodźców, dwukrotnie. Wśród indywidualnych laureatów Pokojowej Nagrody Nobla jest 17 kobiet i 90 mężczyzn. Trzech nagrodzonych w dniu jej przyznawania było w więzieniu, a jeden odmówił jej przyjęcia. Choć w zasadzie Nagrody Nobla nie można nie przyjąć, można odmówić jej odbioru, ale nagrodzonym się nadal pozostaje. Pokojowa Nagroda Nobla jest wręczana tego samego dnia co inne nagrody, 10 grudnia, w rocznicę śmierci ich fundatora, w Norwegii w ratuszu w Oslo (od 1990 r.), w obecności rodziny królewskiej, członków parlamentu, dyplomatów. Nagrodzony otrzymuje wówczas dyplom i medal. Swoją mowę noblowską wygłasza podczas wieczornego bankietu. Dyplom tej nagrody od roku 1991 jest wypisywany ręcznie i co roku zmienia się jego grafika. Jego treść jest jednak niezmienna od początku: „Komitet Noblowski Stortingu, zgodnie z warunkami opisanymi w testamencie Alfreda Nobla z dnia 27 listopada 1895 r. odznaczył [imię i nazwisko laureata] Pokojową Nagrodą Nobla za rok”.



Fot. 4. Józef Rotblat 1995
Photo 4. Józef Rotblat 1995

Medal, który otrzymuje laureat, wykonany jest z 18 karatowego złota (do roku 1980 było to złoto 24 karatowe) i waży 196 gramów. Na jego awersie znajduje się podobizna Alfreda Nobla, na obwodzie zaś umieszczone jest jego imię, nazwisko oraz daty: narodzin i zgonu. Na rewersie umieszczony jest wizerunek trzech nagich mężczyzn obejmujących się wzajemnie i inskrypcja w języku łacińskim, „Dla pokoju i braterstwa między ludźmi”. Na rancie medalu wyryte jest imię i nazwisko laureata, rok, w którym został on wyróżniony oraz napis w języku francuskim *Prix Nobel de la Paix*. W grudniu 2020 r. nagrodzona zostanie agencja Organizacji Narodów Zjednoczonych do walki z głodem — Światowy Program Żywnościowy (World Food Programme), a wartość tegorocznej nagrody to 95 tys. euro. Dotyczy to każdej nagrodzonej dziedziny.

Tyle o Pokojowej Nagrodzie Nobla. Bardzo ważną z punktu widzenia liczby nagrodzonych Polaków na-

grodą, jest Literacka Nagroda Nobla. Po raz pierwszy przyznano ją w roku 1901 i otrzymał ją francuski poeta Sully Prudhomme. Przyznawana jest przez Akademię Szwedzką za najbardziej wyróżniające się dzieło w kierunku idealistycznym. W skład Akademii wcho-

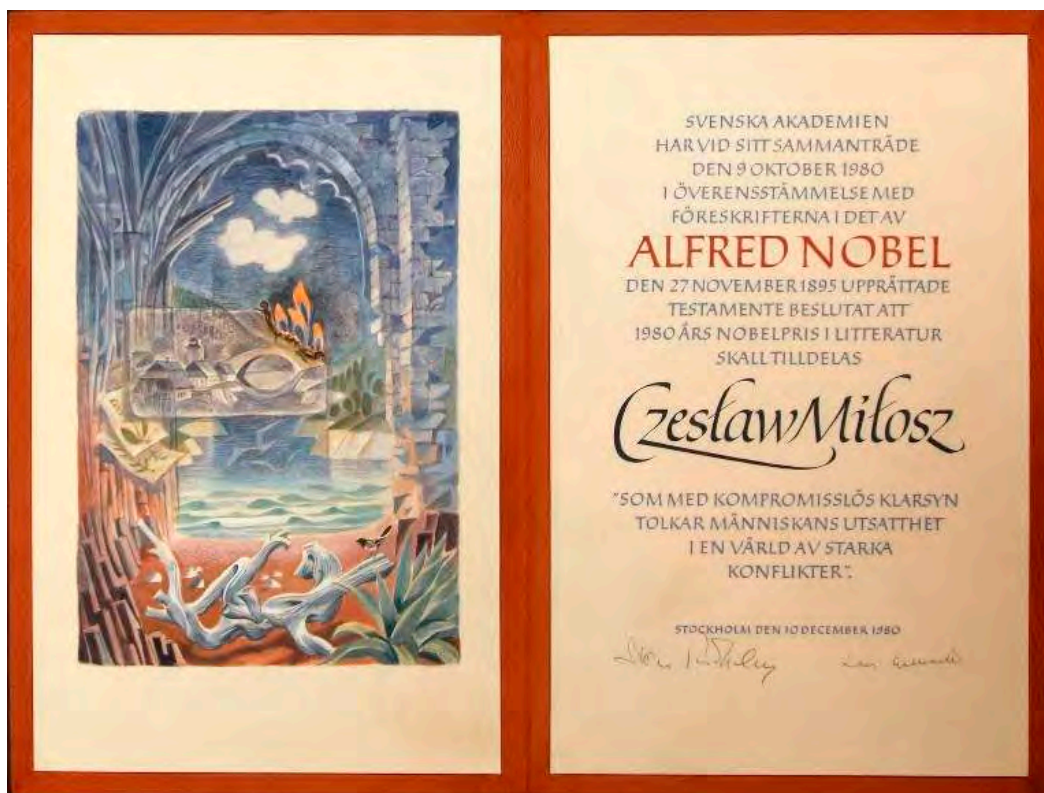
dzą szwedzcy poeci, pisarze, historycy, filozofowie. Członkami Akademii pozostają dożywotnio, spośród nich do pracy z Komitetem Noblowskim wybranych zostaje pięć osób na 3 lata. To oni na początku października w głosowaniu większościowym wybierają



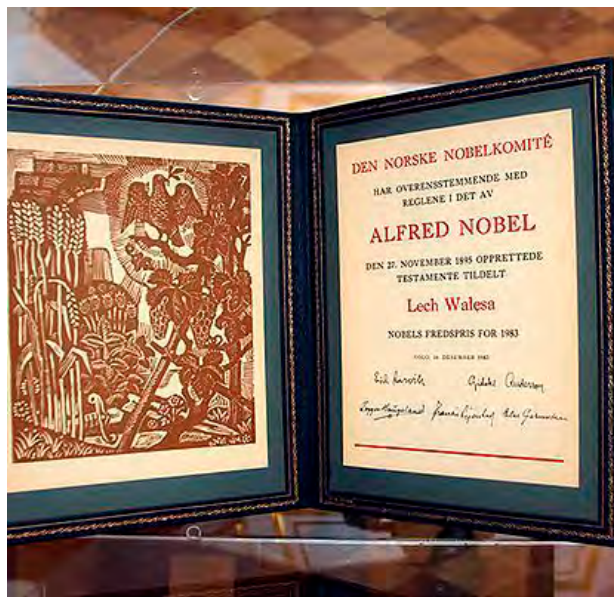
Fot. 5. Władysław Reymont 1924
Photo 5. Władysław Reymont 1924



Fot. 6. Wisława Szymborska 1996
Photo 6. Wisława Szymborska 1996



Fot. 7. Dyplom literackiej Nagrody Nobla dla Czesława Miłosza (fot. Towarzystwa Marii Skłodowskiej-Curie w Hołdzie)
Photo 7. Nobel Prize Diploma in Literature for Czesław Miłosz



Fot. 8. Dyplom pokojowej Nagrody Nobla dla Lecha Wałęsa
Photo 8. Nobel Peace Prize Diploma for Lech Wałęsa

jednego kandydata. W tym roku nagrodzona została amerykańska poetka, Louise Glück za jej „niepowtarzalny poetycki głos”, który swoim surowym pięknem czyni życie każdego z nas uniwersalnym — (słowa sekretarza Akademii Szwedzkiej). Gdy zajrzemy do statystyk, okaże się, że jest to pierwsza poetka nagrodzona Literacką Nagrodą Nobla od roku 1996, kiedy nagrodę otrzymała Wisława Szymborska. Do roku 2019 nagrodą wyróżniono 116 osób, w tym 15 kobiet. W latach 1940-1943 nagród nie przyznawano. Pierwszą nagrodzoną kobietą była w roku 1909, Szwedka, Selma Lagerlöf. Dwie osoby odmówiły przyjęcia nagrody, w roku 1958 Borys Pasternak, który uczynił to pod naciskiem władz sowieckich oraz w roku 1964 Jean-Paul Sartre, który nie przyjmował w ogóle żadnych nagród za swoją twórczość. W roku 2016 nagrodzony został piosenkarz, kompozytor, autor tekstów kultowych piosenek swego pokolenia – Bob Dylan, który najpierw zadeklarował, że nagrody nie przyjmie, potem jednak zmienił zdanie. Uzasadnienie nagrody brzmiało: „za stworzenie nowego, poetyckiego wyrazu wewnątrz całej amerykańskiej tradycji muzycznej”. Nagrodę odebrał 1 kwietnia 2017 r. podczas skromnej ceremonii (takie było jego życzenie) w hotelu, Dylan złamał noblowski dress code i odebrał nagrodę w czarnej bluzie z kapturem zamiast smokingu, nie wygłosił także mowy noblowskiej. Dał za to dwa koncerty.

W historii przyznawania literackich Nagród Nobla najczęściej nagradzani byli twórcy piszący po angielsku, francusku i niemiecku. Polska literatura może pochwalić się nagrodami, w kolejności: Henryk Sienkiewicz (1905) za „wybitne osiągnięcia w dziedzinie epiki i rzadko spotykany geniusz, który wcielił w siebie ducha

narodu”, Władysław Reymont (1924) za „wybitny epos narodowy, powieść Chłopi”, Czesław Miłosz (1980) za to, że z „bezkompromisową jasnością postrzegania wyraził warunki, na jakie jest wystawiony człowiek w świecie ostrego konfliktu”, Wisława Szymborska (1996) za „poezję, która z ironiczną precyzją pozwala historycznemu i biologicznemu kontekstowi ukazać się we fragmentach ludzkiej rzeczywistości”, Olga Tokarczuk (za 2018 r. wręczona w roku 2019) za „wyobraźnię narracyjną, która z encyklopedyczną pasją reprezentuje przekraczanie granic jako formę życia”. Przesunięcie wręczenia nagrody Oldze Tokarczuk wynikało ze skandalu związanego z przeciekami, jaki wybuchł w otoczeniu jednej z jurerek w Akademii Szwedzkiej. Czytając uzasadnienia przyznania nagród, nie mogłam oprzeć się wrażeniu, że niektóre z nich same w sobie stanowią mogą literackie wyzwania. Także wśród tych nagród nie brakowało pewnych skandali czy gorących dyskusji. Przykładem może być, chociażby zeszłoroczna nagroda dla kontrowersyjnego pisarza austriackiego Petera Handke za „wpływową pracę, która z językową pomysłowością badała peryferie i specyfikę ludzkiego doświadczenia”. Kontrowersje wzbudziły poglądy polityczne noblisty, wyrażone w eseju napisanym, w 1996 r., w którym przedstawił on Serbów jako ofiary wojen. Zyskał sobie opinię serbskiego nacjonalisty. Postanowienie o przyznaniu Peterowi Handke literackiej Nagrody Nobla skrytykował między innymi ambasador Kosowa w USA, minister spraw zagranicznych Albanii, pisarz Salman Rushdie oraz słoweński filozof Slavoj Žižek. W roku 1953 literacką Nagrodę Nobla otrzymał Winston Churchill za „wielkie mistrzostwo utworów o charakterze historycznym i biograficznym, a także błyskotliwą sztukę oratorską, z pomocą, której bronił najwyższych ludzkich wartości”.

Podczas wręczenia nagrody w budynku filharmonii sztokholmskiej, laureat otrzymuje nagrodę pieniężną, medal oraz dyplom. Treść dyplomu jest niezmienna, kaligrafowana w języku szwedzkim, sam dyplom nie ma stałej szaty graficznej. Jest ona zależna od rodzaju twórczości. Po jednej stronie medalu (jak na wszystkich medalach noblowskich) znajduje się podobizna Alfreda Nobla, po drugiej nazwisko laureata oraz postać młodego mężczyzny siedzącego pod wawrzynem, słuchającego i spisującego pieśń Muzy. Umieszczona jest także inskrypcja z Eneidy „»Poprawmy życie przez sztukę«”.

Na koniec pozwolę sobie na krótkie podsumowanie i ciekawostki:

Najmłodsza osoba, nagrodzona Nagrodą Nobla to pakistańska działaczka na rzecz praw kobiet, zwłaszcza na rzecz ich prawa do nauki Malala Yousafzai (Pokojoowa Nagroda Nobla 2014) urodzona w 1997 r. Rok wcześniej otrzymała nagrodę A. Politkowskiej, Międzynarodową Dziecięcą Nagrodę Pokojową, Nagrodę Sacharowa,



Fot. 9. Ceremonia noblowska (fot: Pi Frisk)
Photo 9. Nobel ceremony (Photo: Pi Frisk)



Fot. 10. Bankiet Noblowski (fot. nobelprize.org)
Photo 10. Nobel Banquet (Photo: nobelprize.org)

Nagrodę Simone de Beauvoir. W 2016 r. została uhonorowana Orderem Uśmiechu, stając się najmłodszą nim wyróżnioną.

Najstarszym laureatem jest laureat nagrody w dziedzinie chemii (2019 r.) John B. Goodenough (97 lat).

Jedyną osobą nagrodzoną dwukrotnie naukową Nagrodą Nobla w różnych dziedzinach naukowych fizyka (1903) oraz chemia (1911) jest Maria Skłodowska-Curie.

Nagrodzonymi dwukrotnie w tej samej dziedzinie naukowej byli: John Bardeen – fizyka (1956, 1972), Frederick Sanger – chemia (1958, 1980)

Dwie nagrody Nobla otrzymał także Linus Pauling, w dziedzinie chemii (1954), pokojowa Nagroda Nobla («Poprawmy życie przez sztukę 1962»)

Ciekawostką „noblowską” niewątpliwie jest rodzina Marii Skłodowskiej-Curie. W rodzinie tej doliczyć się można 6 Nagród Nobla. Pozwolę sobie je wymienić.

1903 rok, w dziedzinie fizyki nagroda dla Marii Skłodowskiej-Curie oraz Piotra Curie, 1911 rok w dziedzinie chemii nagroda w dziedzinie chemii dla Marii Skłodowskiej-Curie, 1935 rok nagrody Nobla w dziedzinie chemii dla Ireny Joliot-Curie i Fryderyka Joliot, 1966 rok, pokojowa Nagroda Nobla dla organizacji UNICEF, na którego czele stał wówczas Henry Labouisse, mąż Ewy Curie.

„Mój dynamit lepiej przyczyni się do pokoju niż tysiąc światowych kongresów. Kiedy człowiek zrozumie, że całe armie mogą zostać unicestwione to będzie mógł żyć w wiecznym pokoju” mawiał fundator najważniejszej nagrody na świecie. Choć tak mądry i wrażliwy, nie był niestety wystarczająco przewidujący. Świadomość samounicestwienia nie powstrzymuje ludzi przed działaniem w tym kierunku, zmusza ich tylko do działań bardziej, nazwijmy to wysublimowanych.

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



INTERNATIONAL CONFERENCE ON DEVELOPMENT AND APPLICATIONS OF NUCLEAR TECHNOLOGIES NUTECH-2020



W dniach 4-7 października 2020 r. w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie odbyła się międzynarodowa konferencja poświęcona rozwojowi i zastosowaniom technologii jądrowych International Conference on Development and Applications of Nuclear Technologies NUTECH-2020. Konferencja NUTECH-2020 jest kontynuacją Ogólnopolskich Sympozjów Zastosowań Techniki Jądrowej w Przemśle, Rolnictwie, Medycynie i Ochronie Środowiska, które od roku 1960, co trzy lata odbywają się w Polsce. W 2008 r. sympozjum uzyskało status międzynarodowy i ze znacznym udziałem zagranicznych uczestników stanowi platformę do dzielenia się doświadczeniami oraz poznania najnowszych nuklearnych osiągnięć naukowych i aplikacyjnych.



Fot. 1. Konferencji NUTECH-2020 przewodniczył prof. Andrzej G. Chmielewski (fot. Sylwester Wojtas)

Ze względu na panującą pandemię COVID 19 pierwszy raz konferencja była zorganizowana w formie hybrydowej. Uczestnicy mieli możliwość wzięcia udziału w konferencji osobiście lub on-line. Wszystkie wykłady były transmitowane za pomocą dedykowanej platformy konferencyjnej. W konferencji wzięło udział 100 naukowców z całego świata, w tym 38 z zagranicy. Połowa zarejestrowanych uczestników brała udział w konferencji osobiście, a połowa on-line. Na



Fot. 2. Uczestnicy konferencji NUTECH przed salą konferencyjną (fot. Sylwester Wojtas)

konferencję zgłoszono łącznie 92 abstrakty, z tego 45 prezentacji ustnych oraz 47 prezentacji posterowych, które miały postać krótkich (5 min) komunikatów.

Organizatorami konferencji były: Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Akademia Górniczo-Hutnicza z Krakowa oraz Polskie Towarzystwo Nukleoniczne. Konferencję przewodniczyli prof. Andrzej G. Chmielewski oraz prof. M. Lankosz. Honorowy Patronat nad konferencją objęły: Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Ministerstwo Klimatu, Państwowa Agencja Atomistyki oraz Urząd Dozoru Technicznego.

W otwarciu konferencji NUTECH-2020 wzięli udział osobiście: Prezes Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) dr Łukasz Młynarkiewicz, który powitał uczestników konferencji oraz Wiceprezes PAA Andrzej Głowacki. Dyrektor Departamentu Energetyki Jądrowej w Ministerstwie Klimatu dr Tomasz Nowacki, również przywitał uczestników konferencji podczas wystąpienia on-line.

W sesji planarnej w dniu otwarcia konferencji wykłady wygłosili:

- Prof. Piotr Ulański „Radiation crosslinking of polymers – facing new paradigms, creating new opportunities”,
- Dr Jerzy Majcher „Electricity market and power system conditions for financing the construction of a nuclear power plant in Poland”,
- Prof. Suresh Pillai „The next frontier for understanding how microorganisms respond to ionizing technologies”,
- Prof. Mohamad AL-Sheikhly „Electron Beam Synthesis of Novel Fabrics for Extraction of Uranium from Seawater”,
- a także przedstawiciele Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (International Atomic Energy Agency IAEA) dr Bumsoo Han „Radiation Technology for Sustainable Development” oraz dr Partrick Brisset „IAEA Programs in the field of RT, NCS and NDT”.

Drugi dzień konferencji w całości dedykowany był zagadnieniom energetyki jądrowej. Wśród zaproszonych gości znaleźli się:

- Prof. Mariusz Dąbrowski „Polish GOSPOSTRATEG HTR project – what has been done and what to do next?”,
- Dr Ziemowit Iwański “Modern Power Generation Technologies and Strategy to Achieve Optimal Energy Mix”,
- Prof. Waław Gudowski „High Temperature Gas Cooled Reactors – good choice for Poland to enter nuclear energy deployment”,
- Dr Mirco Grosse “Thermal Limits of Promising Candidate Materials for Accident Tolerant Fuel Claddings”.

Sesję dedykowaną badaniom prowadzonym w obszarze reaktorów wysokotemperaturowych (HTR) otworzył dr Heinz Nabielek wykładem „TRISO particle nuclear fuel at the heart of the High Temperature Reactor”. W trakcie sesji zaprezentowano wyniki realizacji projektu „Przygotowanie instrumentów prawnych, organizacyjnych i technicznych do wdrażania reaktorów HTR w Polsce”, który jest realizowany w ramach strategicznego programu badań naukowych i prac rozwojowych GOSPOSTRATEG „Społeczny i gospodarczy rozwój Polski w warunkach globalizujących się rynków” oraz projektu EU Horyzont 2020 w obszarze EURATOM GEMINI+, którego koordynatorem jest Narodowe Centrum Badań Jądrowych.

Trzeci dzień konferencji w całości poświęcony był różnym aspektom wykorzystania technologii radiacyjnych, radioizotopów oraz technik radioanalitycznych. W trakcie tego dnia odbyły się dwie sesje specjalne. Pierwsza z nich dedykowana była projektowi ARIES „ACCELERATOR RESEARCH AND INNOVATION FOR EUROPEAN SCIENCE AND SOCIETY”, którą wykładem „Plans for future electron beam activities in Horizon 2020” rozpoczął prof. Rob Egdecock. Wprowadzaniem do tematyki tej sesji był wykład prof. A. G. Chmielewskiego dotyczący zastosowań akceleratorów elektronów w ochronie środowiska „New Developments in



Fot. 3. Uczestnicy konferencji na sali obrad (fot. Sylwester Wojtas)



Environmental Radiation Technology Applications". Druga sesja specjalna ISTRIA „TRACERS AND RADIO-TRACERS APPLICATIONS” poświęcona była zagadnieniom wykorzystania radioizotopów w badaniach nieszczelności i w zastosowaniach przemysłowych. W ramach wykładów prof. Thorsten Jentsch przedstawiał status prac normalizacyjnych dotyczących zastosowania radioizotopowych metod detekcji.

Podczas kolejnych sesji prezentowane były wykłady dotyczące medycznych zastosowań radioizotopów, wykorzystania promieniowania jonizującego w syntezie materiałów biomedycznych oraz napromieniowania żywności. Najnowsze rozwiązania aparaturowe oferowane przez Budker Institute of Nuclear Physics, Rosja zaprezentowali dr Aleksandr Bryazgin oraz dr Nikolay Kuksanov.

Warto zauważyć, że znaczna część komunikatów konferencyjnych, których uczestnicy mieli możliwość wysłuchać podczas trzeciego dnia konferencji, była poświęcona różnorodnym aspektom wykorzystania akceleratorów elektronów, w tym urządzeń niskoenergetycznych. Akutnie badania prowadzone w tej tematyce rozwijają się bardzo dynamicznie i pojawiają się coraz więcej obszarów zastosowań, takich jak: ochrona środowiska, dekontaminacja mikrobiologiczna żywności lub radiacyjna inaktywacja bakterii i wirusów do zastosowań medycznych.

W trakcie ostatniego dnia konferencji odbyła się sesja posterowa, w formie 5 min prezentacji ustnych. Sesja obejmowała 32 postery pogrupowane w następujące bloki tematyczne: irradiation facilities, dosimetry and process control, radioisotopes and medical applications, materials modification, environmental applications, radiation technologies application – food irradiation.

Konferencję zakończył prof. A. Chmielewski wystąpieniem podsumowującym obecny stan i perspektywy rozwoju w obszarze energetyki jądrowej i technologii radiacyjnych, w świetle zaprezentowanych w trakcie NUTECH-2020 wykładów.

Wydarzeniem towarzyszącym konferencji NUTECH – 2020 były, webinaria, które zostały zorganizowane 7 października br. w ramach realizacji projektu CEI (Central European Initiative) “Dissemination of the Knowledge on Application of Ionising Radiation for Sterilization of Medical Equipment, Personal Protection Equipment and the other Microbiologically Infected Objects” oraz w ramach projektu Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej IAEA RER1021 “Enhancing the Use of Radiation Technologies in Industry and Environment”. Tematyka prezentacji dotyczyła zastosowania promieniowania jonizującego do sterylizacji sprzętu medycznego, środków ochrony indywidualnej i innych obiektów zakażonych mikrobiologicznie. Webinaria cieszyły się ogromnym zainteresowaniem, a limit 100 uczestników został wyczerpany.

Konferencję NUTECH-2020 zorganizowano przy zachowaniu wszystkich środków bezpieczeństwa, jak zachowanie dystansu społecznego, obowiązek zasłaniania ust i nosa podczas obecności na sali konferencyjnej, pomiar temperatury, dezynfekcja sal konferencyjnych itp. Rozdawane uczestnikom pakiety konferencyjne dla bezpieczeństwa wysterylizowano uprzednio przy zastosowaniu wiązki elektronów z akceleratora na Stacji Sterylizacji Radiacyjnej Wyrobów Medycznych i Przeszczepów będącej częścią IChTJ.

Pomimo trudnej sytuacji epidemicznej konferencja zakończyła się sukcesem. Bieżące informacje na temat konferencji dostępne są na stronie www.nutech2020.pl.

Konferencję dofinansowano z programu „Doskonała nauka” Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



**Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego**

*Urszula Gryczka,
Dagmara Chmielewska-Śmietanko,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



WEBINARIA
“APPLICATION OF
IONISING RADIATION
FOR STERILIZATION OF
MEDICAL EQUIPMENT,
PERSONAL PROTECTION
EQUIPMENT
AND THE OTHER
MICROBIOLOGICALLY
INFECTED OBJECTS”



Szkolenie na temat “Application of Ionising Radiation for Sterilization of Medical Equipment, Personal Protection Equipment and the other Microbiologically Infected Objects” (Zastosowanie promieniowania jonizującego do sterylizacji sprzętu medycznego, środków ochrony osobistej i innych mikrobiologicznie zainfekowanych obiektów) zorganizowano jako imprezę towa-

rzyszając konferencji NUTECH 2020 w ramach projektu CEI (Central European Initiative) p.t.: „Dissemination of the Knowledge on Application of Ionising Radiation for Sterilization of Medical Equipment, Personal Protection Equipment and the other Microbiologically Infected Objects”. Szkolenie odbyło się w dniu 7 października 2020 r., w formie webinarium.

Webinarium w języku angielskim zorganizowane zostało przez Zespół z Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ). Uczestnictwo w nim było otwarte dla szerokiej publiczności, i bezpłatne.

W sesji, (przeprowadzonej w formie hybrydowej), poza uczestnikami połączonymi via Internet, brali udział uczestnicy obecni na sali wykładowej.

Program obejmował cykl czterech wykładów w języku angielskim:

- dr Zbigniew Zimek, “Ionizing radiation sources used in the process of radiation sterilization („Źródła promieniowania jonizującego stosowane w procesie radiacyjnej sterylizacji”);
- dr Sylwester Sommer, “Microbiological aspects of the process of radiation sterilization with the emphasis of virus sterilization possibility” („Mikrobiologiczne aspekty procesu sterylizacji radiacyjnej ze szczególnym uwzględnieniem możliwości sterylizacji wirusów”) oraz “Low dose of radiation chest therapy – is it possible and effective in case of Covid-19?” („Niska dawka radio-terapii klatki piersiowej – czy jest możliwa i skuteczna w przypadku Covid-19?”);
- dr hab. Krystyna Cieśla, “Ionising radiation influence on the physico – chemical and functional properties of the materials” („Wpływ promieniowania jonizującego na właściwości fizyko-chemiczne i użytkowe materiałów”);
- dr Andrzej Rafalski: “Radiation sterilization of medical equipment, personal protection equipment, and the other microbiologically infected objects” („Sterylizacja radiacyjna sprzętu medycznego, środków ochrony indywidualnej oraz innych przedmiotów zakażonych mikrobiologicznie”.

Podczas spotkania przedyskutowane zostały, między innymi, następujące zagadania:

- (1) oddziaływanie promieniowania jonizującego z materią, porównania promieniowania gamma i wiązki elektronów,
- (2) skutki biologiczne promieniowania i mikrobiologiczne aspekty procesu sterylizacji radiacyjnej,
- (3) zmiany właściwości użytkowych poszczególnych materiałów, które mogą wystąpić w procesie sterylizacji,
- (4) sterylizacja radiacyjna wyrobów medycznych.

W webinarium łącznie brało udział ok. 120 uczestników z 33 krajów z całego świata, w tym 67 uczestników z 17 państw wchodzących w skład CEI (Albania, Białoruś, Bośnia i Hercegowina, Bułgaria, Chorwacja,

Czarnogóra, Mołdawia, Polska, Północna Macedonia, Republika Czeska, Rumunia, Serbia, Słowacja, Słowenia, Ukraina, Węgry, Włochy. Uczestników z Polski, łącznie z obecnymi na sali było ok. 20. Na zakończenie każdy uczestnik otrzymał Certyfikat.

Więcej informacji na temat webinarium, łącznie z dostępem do prezentacji, można uzyskać na stronie internetowej CEI (Central European Initiative) oraz na stronie internetowej Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej (w zakładce „Central European Initiative (CEI) Project CEI Extraordinary Call for Proposals 2020) <http://www.ichtj.waw.pl/drupal/?q=node/1080>

Zespół z IChTJ przygotowuje cykl Webinarium na ten sam temat w języku polskim (planowany termin: 21 stycznia 2021 r. – sterylizacja.radiacyjna@ichtj.waw.pl)

*Krystyna Cieśla,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



XLVI NADZWYCZAJNY JUBILEUSZOWY ZJAZD FIZYKÓW POLSKICH I OBCHODY ROKU FIZYKI W SENACIE RP

W dniach 16-18 października 2020 r. odbył się w Warszawie 46 Nadzwyczajny Zjazd Fizyków Polskich zorganizowany z okazji setnej rocznicy powstania Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Ze względu na epidemię koronawirusa liczba osób biorących na żywo udział w uroczystościach jubileuszowych nie mogła przekroczyć 50 osób. Przybyli polscy dostojnicy ze świata nauki i polityki oraz reprezentanci Towarzystw Fizycznych z wielu krajów europejskich. Prezydenci europejskich i pozaeuropejskich Towarzystw Fizycznych, a także przedstawiciele władz państwowych i samorządowych przekazali na ręce Prezesa PTF życzenia dla polskiego środowiska fizycznego i Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Całe wydarzenie transmitowano w otwartym, bezpłatnym kanale w serwisie YouTube. Z możliwości uczestnictwa hybrydowego skorzystało blisko 600 osób.

Otwierając Zjazd Prezes PTF prof. Leszek Sirko wygłosił okolicznościowe przemówienie, po czym wręczył zasłużonym Medale Jubileuszowe, z wizerunkiem Władysława Natansonu – pierwszego prezesa PTF, zaprojektowane przez prof. Wojciecha Mendzelewskiego. Zjazd stał się okazją do szczególnie uroczystego wręczenia statutowych nagród PTF.

W gmachu Politechniki Warszawskiej, gdzie 11 kwietnia 1920 r. podczas organizacyjnego zjazdu



fizyków powstało Polskie Towarzystwo Fizyczne, odsłonięto tablicę upamiętniającą to wydarzenie.

Pierwsze sesje jubileuszowego zjazdu poświęcono historii Towarzystwa. W półgodzinnych referatach przedstawili ją profesorowie – reprezentanci ośrodków założycieli PTF: **Warszawy** – Jerzy Garbarczyk (Politechnika Warszawska), **Wilna i Torunia** – Józef Szudy (Uniwersytet Mikołaja Kopernika), **Lwowa i Wrocławia** – Adam Kiejna (Uniwersytet Wrocławski), **Krakowa** – Wojciech Gawlik (Uniwersytet Jagielloński) i **Poznania** – Henryk Drozdowski (Uniwersytet Adama Mickiewicza).

Drugi dzień obrad był zatytułowany: „**Fizyka w Polsce – gdzie jesteśmy**”. W audytorium Wydziału Fizyki UW wygłoszono 13 referatów dających całe spektrum najaktualniejszych badań prowadzonych na świecie i w największych polskich ośrodkach fizyki. A oto ich tytuły:

- Co nowego w astronomii fal grawitacyjnych (prof. Tomasz Bulik – UW),
- Spektroskopia, optyczne zegary i ciemna materia (prof. Roman Ciuryło – UMK),
- Oscylacje neutrin (prof. Jan Sobczyk – Uniwersytet Wrocławski),
- Cząstka Higgsa – koniec pewnej historii i co dalej? (prof. Jan Pokorski – UW),
- Egzotyczne nuklidy i promieniotwórczość dwuprotonowa (prof. Marek Pfützner – UW),
- Nanotechnologie, fotonika i alternatywne źródła energii (prof. Maria Kamińska – UW),
- Od półprzewodników półmagnetycznych do spintroniki i materii topologicznej (prof. Tomasz Dietl – UW),
- Informacja kwantowa (prof. Ryszard Horodecki – Uniwersytet Gdański),
- Fizyka dla polityków (prof. Janusz Hołyst – Politechnika Warszawska),
- Terapeutyki nowej generacji: czy chemicznie modyfikowane mRNA są największą nadzieją terapii genowej? (dr hab. Joanna Kowalska – UW),

- Radioterapia protonowa – od fizyki do medycyny (prof. Paweł Olko – IFJ PAN),
- Pozytonium w fizyce, biologii i medycynie (prof. Paweł Moskal – UJ),
- Solaris – promieniowanie X dla fizyki, chemii, biologii i medycyny (prof. Marek Stankiewicz – UJ).

Wieczorem odbyły się cztery sesje plakatowe w małych pomieszczeniach po 30 plakatów ekspozowanych do północy. Trzeci i ostatni dzień Zjazdu poświęcono dydaktyce ze szczególnym naciskiem na ważność nowoczesnych technologii, eksperymentów i demonstracji w nauczaniu fizyki na wszystkich poziomach.

Nie był to koniec wydarzeń celebrujących jubileusz 100-lecia powstania Polskiego Towarzystwa Fizycznego. Ósmego października 2019 r. na ostatnim posiedzeniu Senatu w IX kadencji podjęto uchwałę ustanawiającą **Rok 2020 Rokiem Fizyki**. Senat pragnął w ten sposób podkreślić zasługi polskich fizyków dla światowej nauki oraz przypomnieć niezwykle rozwój fizyki polskiej, jaki nastąpił po odzyskaniu przez Polskę niepodległości w roku 1918. W ramach obchodów Roku Fizyki w Senacie RP, 28 października 2020 r. otwarto wystawę pt. **Polscy Fizycy dla Nauki Światowej**. Transmisję online z otwarcia wystawy można było zobaczyć na stronie www.senat.gov.pl oraz w internecie. Z powodu pandemii koronawirusa zaplanowana na 28 października 2020 konferencja w Senacie zatytułowana **Stulecie Polskiego Towarzystwa Fizycznego – Rok 2020 Rokiem Fizyki** została przełożona na maj 2021 r. Udział w niej zapowiedzieli Marszałek Senatu prof. Tomasz Grodzki oraz Przewodniczący Komisji Nauki, Edukacji i Sportu Senatu prof. Kazimierz Wiatr.

*dr Małgorzata Nowina Konopka,
Oddział Krakowski Polskiego
Towarzystwa Fizycznego, Kraków*



PODSUMOWANIE POLSKIEGO UCZESTNICTWA W PROGRAMIE EURATOM-FISSION

Komisja Europejska w latach 2014-2020, w ramach programu EURATOM-Fission przeprowadziła **8** konkursów.

Na **257** wniosków o koordynację, **205** złożyli koordynatorzy z UE15, **45** z UE13 oraz **7** z Krajów Stowarzyszonych (2 z Ukrainy, 5 ze Szwajcarii).

Świat w EURATOM-Fission	Liczba uczestnictwa we wnioskach	Liczba uczestnictw	Wskaźnik Sukcesu	Liczba organizacji	Dofinansowanie NETTO uczestników projektów [mln €]
UE28	3 270	1 696	51,87%	512	397,18
UE13	734	318	43,32%	97	43,18
Udział UE13 w UE28	22,45%	18,75%		18,95%	10,87%
Polska	88	35	39,77%	16	4,66
PL Participation in EU28	2,69%	2,06%		3,13%	1,17%
PL Participation in EU13	11,99%	11,01%		16,49%	10,80%
Rest of the world	362	151	41,71%	67	15,16
Total	3 632	1 847	50,85%	579	412,34

Polskie organizacje składając 8 wniosków o koordynację znalazły się na 10 pozycji wśród 21 państw UE składających wnioski.

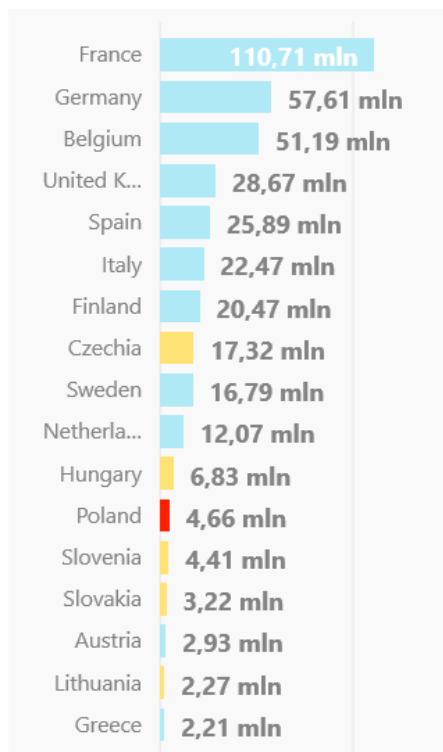
16 polskich organizacji podpisało 24 umowy o udzielenie dofinansowania o łącznej wartości blisko 4,66 mln €. Polscy beneficjenci stanowią 3,13% ogółu dofinansowanych zespołów UE i 17,35% uczestników nowych państw członkowskich (UE13). Uzyskane przez Polskę dofinansowanie stanowi 1,17% budżetu UE i 10,92% budżetu UE13, a także 31,05% środków pozyskanych przez 12 krajów spoza UE biorących udział w projektach EURATOM-Fission.

Fission - Koordynacje-Ranking uczestnictwa

Poz **10 z 21** UE

Pozycja kraju na podstawie liczby wniosków Fission o koordynację w odniesieniu do UE.

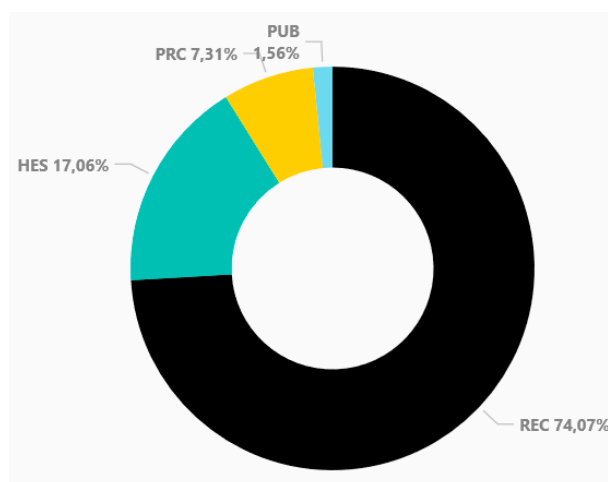
Poniżej przedstawione miary polskiego uczestnictwa w EURATOM-Fission na tle wyników całej UE pokazują, że Polska zajmując **12.** pozycję w UE dobrze wykorzystuje swój potencjał badawczy. Świadczy o tym również **10.** pozycja w rankingu uczestnictwa w koordynacjach projektów. Analizując te dane należy pamiętać, że Polskę wyprzedzają pod względem liczby czynnych reaktorów atomowych takie kraje jak Słowacja, Bułgaria czy Rumunia zajmując równocześnie zdecydowanie dalsze pozycje.



Polska odzyskuje w programie EURATOM-Fission 1,17% budżetu przypadającego krajom UE, podczas gdy nasze wpłaty do budżetu UE są na poziomie 3,19%.

Polscy uczestnicy projektów EURATOM-Fission

Wśród polskich organizacji najaktywniejsze jest Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej oraz Politechnika Warszawska.



Uczestnictwo w projektach według typu organizacji

Dane statystyczne wyraźnie wskazują, że wśród polskich instytucji uczestniczących w Programie EURATOM-Fission dominują instytuty badawcze – 74,07%. Niewiele jest uczelni – 17,06%, jeszcze mniej firm (7,31%)

Polskie organizacje w programie EURATOM-Fission

Polscy beneficjenci	L. koordynacji	L. uczestnictw	EC NET Contribution [€]	% of PL Budget
NARODOWE CENTRUM BADAN JADROWYCH	2	12	1 886 393,63	40,46%
GŁÓWNY INSTYTUT GÓRNICTWA	0	2	657 981,60	14,11%
POLITECHNIKA WARSZAWSKA	0	4	490 473,56	10,52%
INSTYTUT CHEMII BIOORGANICZNEJ POLSKIEJ AKADEMII NAUK	0	1	335 750,00	7,20%
INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JADROWEJ	0	4	281 761,25	6,04%
UNIwersytet JANA KOCHANOWSKIEGO W KIELCACH	0	1	242 500,00	5,20%
THE HENRYK NIEWODNICZANSKI INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS, POLISH ACADEM...	0	2	152 749,64	3,28%
ENERGOPROJEKT-WARSZAWA SPOLKA AKCYJNA	0	1	122 387,50	2,63%
TAURON POLSKA ENERGIA SA	0	1	120 875,00	2,59%
PROCHEM SA	0	1	97 600,00	2,09%
INSTYTUT FIZYKI PLAZMY I LASEROWEJ MIKROSYNTEZY IM. SYLWESTRA KALISKIEGO	0	1	83 541,25	1,79%
SWIETOKRZYSKIE CENTRUM ONKOLOGIISAMODZIELNY PUBLICZNY ZAKLAD OPIEKIZ...	0	1	72 500,00	1,56%
INSTYTUT PODSTAWOWYCH PROBLEMOW TECHNIKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK	0	1	55 000,00	1,18%
UNIwersytet LODZKI	0	1	39 999,00	0,86%
INSTYTUT MEDYCZYNY PRACY IMIENIA PROF. DRA MED. JERZEGO NOFERA W LODZI	0	1	22 500,00	0,48%
GRUPA AZOTY SPOLKA AKCYJNA	0	1	0,00	0,00%
Suma	2	35	4 662 012,43	100,00%

oraz jednostek publicznych (1,56%) a także całkowity brak udziału małych i średnich przedsiębiorstw (MŚP).

Jest to związane z tym, że Polska nie posiada programu rozwoju energetyki jądrowej. Tylko cztery uczelnie w Polsce (Akademia Górniczo-Hutnicza, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka i Politechnika Gdańska) oferują studia doktoranckie w zakresie energetyki jądrowej. Niektóre uczelnie oferują studia podyplomowe z zakresu energetyki jądrowej (Politechnika Gdańska, Warszawska i Wrocławska). Opisany potencjał uczelni odpowiada bieżącemu krajowemu zapotrzebowaniu, a może nawet nieco go przewyższa, natomiast gwałtownie wzrosnie po podjęciu decyzji o budowie elektrowni jądrowej, co znajdzie swoje przełożenie na zainteresowanie udziałem w Programie EURATOM-Fission wszystkich typów organizacji.

Zwiększenie polskiego udziału w programie Euratom usprawnić mogą działania strategiczne takie jak powołanie sektorowych programów badawczych w dziedzinie fuzji jądrowej i rozszczepienia, umożliwiających wsparcie działań wyłączonych z zakresu wsparcia Euratom czy uruchomienie zachęt na poziomie krajowym do silniejszej współpracy instytucji badawczych z przemysłem.

Szczegółowe informacje znajdują Państwo w raporcie przygotowanym przez Krajowy Punkt Kontaktowy Programów Badawczych UE. Raport będzie można pobrać ze strony www.kpk.gov.pl

Aneta Maszewska,
Krajowy Punkt Kontaktowy
Programów Badawczych UE,
Warszawa



WIZYTA PRZEDSTAWICIELI AMBASADY FRANCJI

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej odwiedzili przedstawiciele Ambasady Francji w Polsce: p. Maëlle BOUGHATTAS i p. Thierry SALMON (oboje z biura Service Nucléaire Régional). W czasie spotkania dyskutowano działania dotyczące współpracy polsko – francuskiej w zakresie energetyki jądrowej i innych zastosowań nukleoniki.

Instytut współpracuje z organizacjami francuskimi w ramach projektów Euroatom: „GEN IV Integrated Oxide fuels Recycling Strategies” (GENIORS), którego koordynatorem jest CEA Marcoule, a członkami konsorcjum IRSN, AREVA i EdF oraz dwóch projektów dotyczących odpadów promieniotwórczych: „Characterization of conditioned nuclear waste for its safe disposal in Europe Activity” (CHANCE) i „European joint programme on radioactive waste management” (EURAD), których koordynatorem jest ANDRA, a członkami konsorcjum CEA, IRSN, CNRS, EDF i ORANO, KEP Nuclear; „European tools and methodologies for an efficient ageing management of plant cables” (TeaM Cables), którego koordynatorem jest EdF, a członkami konsorcjum IRNS, CEA i IMBE – AMU.

Ponadto w dużym projekcie H2020 „Accelerator Research and Innovation for European Science and Society” (ARIES), uczestniczą IChTJ (Polska) oraz CEA, CNRS, SOLEIL (Francja). Konsorcjum o podobnym składzie



Fot.1. Od lewej: Thierry SALMON, Maëlle BOUGHATTAS – Service Nucléaire Régional, od prawej: dyrektorzy IChTJ – Jacek Michalik, Andrzej Chmielewski

uzyskało nowy projekt “Innovation Fostering in Accelerator Science and Technology” (IFAST), który będzie realizowany w latach 2021-2025.

*prof. dr hab. inż. Grażyna Zakrzewska-Kołtuniewicz,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

- egzemplarza pracy,
- recenzji pracy lub opinii opiekuna naukowego,
- oceny pracy przez Komisję Egzaminacyjną,
- dokumentu potwierdzającego obronienie pracy.

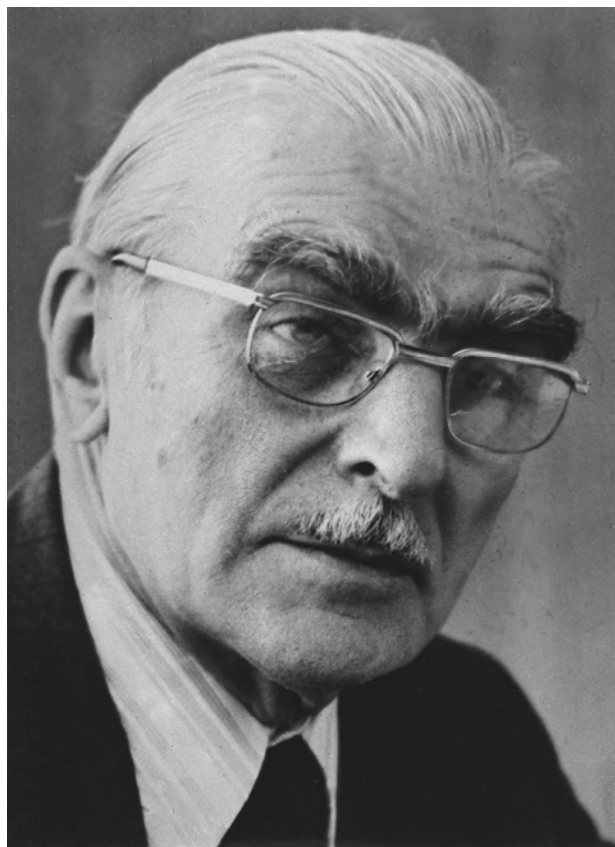


KONKURS POLSKIEGO TOWARZYSTWA NUKLEONICZNEGO 2020+2021

Polskie Towarzystwo Nukleonicy (PTN) ogłasza kolejny konkurs na najlepsze prace doktorskie, magisterskie, inżynierskie i licencjackie związane tematycznie z atomistyką (energetyka jądrowa, zastosowania medyczne technik nuklearnych, technologie radiacyjne, inne prace tematyką nawiązujące do problematyki korzyści i zagrożeń związanych z wykorzystaniem zjawisk, procesów i technik jądrowych, technicznymi aspektami, ekonomiką i odbiorem społecznym zastosowań energetyki jądrowej i inne). Do konkursu mogą być zgłaszane również prace obronione na humanistycznych kierunkach studiów (prawo, ekonomia, turystyka, dziennikarstwo itd.)

Warunkiem uczestnictwa w konkursie jest przesłanie **do 15.05.2021** roku zgłoszenia i dokumentów w postaci elektronicznej:

- streszczenia pracy,



Fot. 1. Prof. Jerzy Minczewski (1916-1995) nestor polskiej atomistyki, pierwszy Prezes PTN (fot. IChTJ)

W konkursie mogą wziąć udział **prace obronione w latach 2019, 2020 oraz 2021**. Autorzy najlepszych prac otrzymają nagrody.

O przyznaniu nagród zadecyduje powołana przez Zarząd Główny PTN Komisja Konkursowa w składzie: prof. dr hab. Andrzej G. Chmielewski (przewodniczący), prof. dr hab. Jerzy Niewodniczański, prof. dr hab. Jan Składzień, prof. dr hab. Grażyna Zakrzewska, dr inż. Krzysztof Fornalski, dr inż. Nikoła Uzunow, dr inż. Wojciech Głuszewski oraz dr inż. Bożena Sartowska (koordynator).

Komisja w swojej ocenie będzie brać pod uwagę oryginalność i nowatorstwo rozwiązań technicznych, technologicznych oraz organizacyjnych, a także walory poznawcze nadesłanych prac.

*dr inż. Bożena Sartowska,
Koordynator konkursu PTN 2020-2021,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa*



PRZESŁANIE AGNETY RISING: MUSIMY PRZEKROCZYĆ DZIELĄCE NAS MOSTY

„Pod wieloma względami przyszłość energii jądrowej jest o wiele jaśniejsza niż była dotychczas. Jesteśmy coraz bardziej rozpoznawalni i cenieni za wyjątkowe usługi, jakie energia jądrowa oferuje ludzkości, i jestem niezmiernie dumna, że służyłam i prowadziłam nasz przemysł przez te ekscytujące czasy” – pisze Agneta Rising, ustępująca dyrektorka generalna World Nuclear Association.

„Kiedy zastanawiam się nad moimi wieloma latami spędzonymi w świecie energii jądrowej, paradoksalnie stwierdzam, że wiele ważnych osobistych wydarzeń podążało za zmianami, które były wynikiem wypadków jądrowych. Objęłam stanowisko dyrektorki generalnej World Nuclear Association w 2013 r., kiedy przemysł jądrowy walczył o przegrupowanie po wypadku w Fukushima Daiichi.

Opuściłam uniwersytet w 1980 r., zaledwie rok po wypadku na Three Mile Island, w roku, w którym moja rodzina Szwecja głosowała nad własną nuklearną przyszłością. W tym momencie ludzie byli już karmieni błędnymi przekonaniami na temat promieniowania. Zanim poszłam na uniwersytet, myślałam, że coś musi być nie tak z energią jądrową. Jednak nawet po spędzeniu pięciu lat na uniwersytecie nie udało mi się odkryć, co jest „nie tak” z energią jądrową, więc kontynuowałam poszukiwanie dalej i głębiej.

Pierwsze 10 lat mojej kariery spędziłam na pracy nad ochroną przed promieniowaniem, modelami komputerowymi i analizowaniem różnych projektów pod kątem bezpieczeństwa radiacyjnego. Jednak dopiero po Czarnobylu moja kariera na zawsze się zmieniła.

Miałam okazję porozmawiać ze społecznościami, zarówno w mojej rodzinnej Szwecji, jak i poza nią, na temat promieniowania i środowiska. Jako naukowiec z wykształcenia nie otrzymałam formalnego szkolenia w zakresie komunikacji, ale musiałam się uczyć, postępując zgodnie z przyjętym planem. Odkryłam, że

niewiele osób łączy wiedzę naukową ze zdolnością do przekazywania wiedzy opinii publicznej.

Po Czarnobylu ludzie najwyraźniej bali się energii jądrowej, ale nigdy nie dano im szansy zareagować w inny sposób niż ze strachu. Nie podjęto wystarczających wysiłków, aby rozmawiać z ludźmi spoza dziedzin nauki, w ich codziennym języku i spojrzeć na promieniowanie z odpowiedniej perspektywy. W przypadku promieniowania powinniśmy porównać promieniowanie z elektrowni jądrowej z promieniowaniem naturalnym i innymi zagrożeniami, aby uzyskać odpowiednią perspektywę.

Niemniej jednak pytania dotyczące Czarnobyla, promieniowania i wypadków były najczęściej zadawanymi przez wiele lat. Ludzie przychodzili na publiczne spotkania wyraźnie zaniepokojeni, pytając, czy zerwane przez nich jagody lub mięso z ich zamrażarek są bezpieczne do spożycia. Zwykle mówiłam moim słuchaczom, że jeśli nie chcą swoich jagód lub mięsa, to chętnie je wezmę! To zdecydowanie skłoniło ludzi do myślenia!

Uważam, że pomogłam uczynić Szwecję bardziej pragmatyczną wobec energii jądrowej. W latach 80. i 90. spędziłam dużo czasu, informując wszystkich szwedzkich parlamentarzystów o faktach związanych z energią jądrową i pomagałam wprowadzić naukę w polityczną debatę.

Powracającym tematem w szwedzkiej debacie był uran i postrzegany wpływ na ludzi procesu wydobywania uranu. Były to bezpodstawne twierdzenia o poważnym wpływie na zdrowie lokalnych i rodzimych populacji, w które laikom łatwo było uwierzyć, ale trudno było je zweryfikować. Te twierdzenia najwyraźniej nie miały podstaw naukowych, ale w ramach mojej pracy w Vattenfall uczestniczyłam w inspekcji kopalń uranu na całym świecie i pomogłam opracować ramy najlepszych praktyk – ramy, które obowiązują do dziś. Jedno było bardzo jasne: kopalnie uranu są wyjątkowo dobrze utrzymane, zwłaszcza w porównaniu z wydobywaniem innych produktów, i powinny być powodem do dumy.

W 1999 r. zostałam pierwszą kobietą wybraną na przewodniczącą Instytutu Uranu, który pod wieloma względami był kluczowym miejscem dla górników i kupców uranu, mało zaangażowanych w debatę

o energii jądrowej. Wierzyłam jednak, że jest w tym duży potencjał i podczas mojego przewodnictwa postanowiłam przekonać członków Instytutu o jego znaczeniu i roli w rozmowach o energii jądrowej i znaczeniu rozwoju energetyki jądrowej na świecie. Wymagało to znacznych wysiłków, aby przezwyciężyć inercję części organizacji, która opierała się proponowanym zmianom. Razem z Zarządem udało nam się uzyskać jednomyślne poparcie członków i byłam zachwycona; mogąc przewodniczyć przekształceniu Instytutu Uranu w Światowe Stowarzyszenie Jądrowe, które wszyscy znamy dzisiaj.

Kilka lat wcześniej byłam współzałożycielką Women in Nuclear (WiN) Global. Kobiety generalnie bardziej boją się promieniowania, mając ogromne obawy o przyszłe pokolenia. My, przemysł jądrowy, musimy lepiej wysłuchiwać obaw ludzi – ważne jest, aby kobiety zawodowo zajmujące się energią jądrową rozmawiały z kobietami spoza branży o ich pracy. Założenie/zorganizowanie WiN było częścią tego wysiłku. Przewodniczyłam pierwszemu spotkaniu Kobiet w Energii Jądrowej – poprzedniczce WiN – a później pełniłam funkcję drugiego prezesa WiN. Podczas mojej prezydentury WiN przekształciło się z organizacji europejskiej w organizację międzynarodową i czterokrotnie zwiększyło liczbę członków. Z wielką przyjemnością obserwuję, jak ta organizacja rozwija się i rozkwita, kontynuując swoją ważną misję na całym świecie.

Czas spędzony na uniwersytecie i ogólne wykształcenie naukowe pomogły mi uświadomić sobie korzyści płynące z posiadania głębokiej wiedzy z zakresu nauk przyrodniczych i ich zastosowań w każdej dziedzinie życia. W prezentacjach dla publiczności zwykle mówię, że „z prawami natury nie można dyskutować”. Oczywiście dotyczy to również świata energii. Oczywiście jest, że będziemy potrzebować więcej energii elektrycznej, aby zasiląć wszystko, co robimy i wszystko, co chcemy robić. Efektywność energetyczna będzie odgrywać pewną rolę, ale musimy zasiląć o wiele więcej, a o wiele więcej ludzi będzie potrzebować energii elektrycznej w przyszłości. Musimy mieć w pamięci szerszy obraz i nie skupiać się na małych częściach układanki.

Ludzkość boryka się z wieloma poważnymi problemami – ludzie potrzebują elektryczności, ludzie potrzebują czystej energii, a my musimy zająć się zmianami klimatycznymi. Prąd jest potrzebny w każdej sekundzie każdego dnia, niezależnie od pory dnia i pogody. Po prostu nie możemy się bez niego obejść. Musimy jednak znaleźć rozwiązania, a technologia jest w tym kluczowa.

Obecnie energia jądrowa jest szanowana, ale nie jest pożądana. Energia jądrowa jest naprawdę istotną częścią rozwiązania w zakresie zmian klimatycznych – ale energia jądrowa nadal nie może być przedmiotem rozmów w UE, nawet jeśli IEA/MAE, kilka organów ONZ i OECD mocniej i pilniej podkreślają jej znaczenie. Każda

polityka powinna być neutralna pod względem technologii – gdyby tak było, robilibyśmy o wiele większy postęp niż obecnie. Niemcy są najlepszym przykładem tego, jak ogromne inwestycje, gdy są źle ulokowane, nie przynoszą rzeczywistego spadku emisji.

Jednak obraz się zmienia, w dużej mierze dzięki wizji, jaką zapewnia – program harmonii. Ludzie przychodzą do rodziny nuklearnej, chcąc, aby energia jądrowa spełniała ich potrzeby, wspomagała ich marzenia i aspiracje. Musimy zmienić wizerunek branży – zarówno na zewnątrz, jak i wewnątrz samej branży – dlatego jestem szczególnie dumna z rezultatu celu Harmonii, z którego skorzystał przemysł jądrowy, a jednocześnie stanowi on punkt odniesienia dla decydentów.

Jeśli przyjmemy holistyczne podejście do energii, zobaczymy całe społeczeństwo, a także zrozumiemy dlaczego niezawodna, całodobowa energia jądrowa jest tak ważna. Przemysł jądrowy dostarcza czystą i taną energię, kiedy tylko jej potrzebujemy – pod wieloma względami jest ona siłą napędową społeczeństwa. Energia jądrowa jest nie tylko przystępna cenowo, ale ma tak mały wpływ na środowisko, że można ją umieścić w dowolnym miejscu, w którym ludzie jej potrzebują.

W ciągu ostatnich kilku lat toczy się coraz więcej dyskusji na temat kosztów energii – mimo że energia jądrowa jest najbardziej opłacalnym źródłem energii dla społeczeństwa. Musimy jednak zadać sobie pytanie – jeśli zbudujemy krótkoterminowe rozwiązania/urządzenia, takie jak panele słoneczne lub turbiny wiatrowe, które nie są skuteczne dla systemu społecznego, to co stanie się z samym systemem? Działają na małą skalę i nie mogą rozwiązać problemów na dużą skalę, z którymi mamy do czynienia. Słońce i wiatr są z natury bardzo rozproszonymi formami energii, co sprawia, że pozyskiwanie z nich energii jest bardziej kosztowne i nie można ich (łatwo) przechowywać. Energia wodna jest zdecydowanie bardziej wydajnym źródłem energii, ponieważ krople deszczu są z natury skoncentrowane w strumieniach i rzekach.

Będąc najbardziej skoncentrowaną formą energii, energia jądrowa jest najbardziej inteligentnym sposobem wytwarzania energii elektrycznej również dla innych usług. Osiągamy ogromną produkcję z energii jądrowej przy bardzo niewielkim wkładzie. Energia odnawialna jest jak rower, może zabrać Cię w różne miejsca i może odgrywać pewną rolę; ma jednak też ograniczenia – niemożliwe jest zbudowanie zaawansowanego społeczeństwa opartego na rowerach. Do tego zadania będziemy potrzebować energii jądrowej lub podążać za metaforą transportu – koleją – gdzie możesz przetransportować ogromne ilości, przy niewielkim wysiłku. W ten sposób budujemy silniejsze jutro, zapewniając, że używamy najbardziej wydajnych, najbardziej inteligentnych systemów energetycznych, jakie są obecnie dla nas dostępne.

Ważne jest, aby decyzje polityczne były podejmowane na podstawie tego, co jest rzeczywiście ważne i w co powinniśmy inwestować. Post-pandemiczne, długoterminowe inwestycje w systemy budujące społeczeństwo muszą mieć miejsce, a inwestycje jądrowe są ostateczne, przeznaczone na 80-100 lat. Potrzebujemy budowy nowych elektrowni jądrowych i dołączenia nowych krajów do rodziny atomowej. Jestem szczególnie dumna z wielu wydarzeń programu Spotlight, które podjęliśmy na całym świecie, gromadząc rządy i społeczność jądrową, aby dzielić się wieloma korzyściami, jakie przynosi program energii jądrowej.

Jednym z znaczących etapów mojej pracy wykonywanej w World Nuclear Association było zainteresowanie i angażowanie ludzi sprawami kwestii jądrowej. Angażowanie ludzi – zwłaszcza tych spoza przemysłu jądrowego – ma kluczowe znaczenie, ponieważ pomaga im znaleźć słownictwo umożliwiające rozmowę z innymi na temat energii jądrowej i wyjaśnienie, dlaczego ma to znaczenie.

Jestem bardzo pozytywnie nastawiona do przyszłości energetyki jądrowej i dlatego tak trudno mi ustąpić ze stanowiska dyrektora generalnego World Nuclear Association. To był fantastyczny czas i jestem wdzięczna za mandat i wszelkie wsparcie jakie otrzymałam od Zarządu, członków i Sekretariatu Stowarzyszenia. Nie mogę się teraz doczekać, kiedy będę mogła spędzać więcej czasu z moją ukochaną rodziną.

Idąc dalej, przemysł jądrowy musi przestać koncentrować się na przekonywaniu opinii publicznej o swoim bezpieczeństwie. Pierwsze 20 lat mojej kariery spędziłam na przekonywaniu ludzi, że energia jądrowa nie stanowi zagrożenia dla środowiska. Teraz powinniśmy skupić się na tym, dlaczego w rzeczywistości środowisko potrzebuje energii jądrowej, a także na korzyściach dla społeczeństwa, atutach gospodarczych, czystym powietrzu i niezawodności. Ważne jest również, aby dać ludziom czas na zrozumienie i refleksję. Musimy poświęcić trochę czasu i podjąć wysiłek, aby przekroczyć mosty, które nas dzielą, prowadząc rozmowę nuklearną z ludźmi w miejscach, w których nigdy wcześniej nie byliśmy – i zabrać ich ze sobą w nuklearną przyszłość”.

*Agneta Rising,
dyrektorka generalna World Nuclear Association,
Londyn, Wielka Brytania
spisane przez World Nuclear News
27 października 2020 r.*



KANADYJSKA ENERGETYKA JĄDROWA W DOBIE COVID 19

Rok 2020 jest niezwykle we wszystkich zakątkach świata. W Kanadzie, mającej przy ogromnym terytorium 37 mln mieszkańców, czyli mniej więcej tyle ludności co Polska, epidemia rozwija się bardzo podobnie. W Prowincji Ontario, w której mieszka 13 mln ludzi, liczba zachorowań i zgonów była początkowo bardzo wysoka per capita, jeszcze gorzej było w Quebecu. Gros ofiar stanowili na początku mieszkańcy domów starców. Sprywatyzowane dwadzieścia lat temu domy opieki długoterminowej posiadały niedostateczną liczbę personelu i fatalne warunki sanitarne. Wymagało to skierowanie tam wojska do zapanowania nad sytuacją, co się powiodło. Pod koniec czerwca krzywa zachorowań zaczęła spadać, co związane było z utrzymywaniem do dziś nakazem używania masek w pomieszczeniach zamkniętych, w tym we wszystkich sklepach i w otwartych ponownie restauracjach. W pewnym momencie we wszystkich prowincjach Kanady notowano dziennie jedno lub maksimum dwucyfrowe liczby osób zakażonych i zerową śmiertelność. Wydaje się, że Kanada wdrożyła ograniczenia przemieszczania się i nakaz masek później niż Polska, ale konsekwencja w ich utrzymaniu przyniosła pożądane rezultaty. W sierpniu i we wrześniu jednak podobnie jak w Polsce liczba nowych zachorowań zaczęła wzrastać i tym razem dotyczyła ludzi młodych, głównie wskutek imprez masowych i towarzyskich. Nadal zamknięta pozostaje granica między Kanadą i USA, poza ruchem towarowym.

Od początku pandemii dwie firmy eksploatujące elektrownie jądrowe w Ontario, sprywatyzowana Bruce Power i państwowa Ontario Power Generation, włączyły się w proces wspomaganie pracowników służby zdrowia. Obie firmy przekazały szpitalom sprzęt ochronny osobistej, w tym przede wszystkim odzież ochronną stosowaną do prac przy odkażaniu urządzeń w elektrowniach. Sprzęt ten doskonale nadawał się do szpitali, a energetyka posiadała go wystarczająco dużo. Podjęto także produkcję tzw. wentylatorów, nieco różniących się od respiratorów. Na szczęście służba zdrowia nie potrzebowała ich tak wiele, jak się na początku spodziewano. Obie firmy energetyczne pozostają w ścisłym kontakcie z władzami lokalnymi gotowe uzupełnić zapasy sprzętu ochronnego w szpitalach w razie potrzeby.

Przez szereg tygodni duża część pracowników technicznych i inżynierskich w elektrowni Darlington pracowała zdalnie. Następnie wprowadzono pracę zdalną, ale co drugi tydzień, w końcu powrót wszystkich pracowników do biur. Oczywiście prace remontowe i eksploatacyjne wymagają fizycznej obecności personelu, zwłaszcza że epidemia Covid 19 nie zwolniła tempa



Fot.1. EJ Darlington od strony północnej (fot. Dariusz Kulczyński)

remontu kapitalnego bloku 2 i 3. Blok 2 (878 MW netto) został odstawiony w 2016 r., a 4 czerwca 2020 r. ponownie zsynchronizowano go z siecią. Wyremontowany blok 2 będzie pracował, co najmniej przez kolejne 30 lat, z możliwością przedłużenia eksploatacji, jak to miało miejsce w Pickering. Ze względu na dobry stan techniczny, elektrownia jądrowa w Pickering będzie pracowała o rok dłużej, a więc do końca 2025 r. Po remoncie kapitalnym rozruch bloku 2 w Darlington został nieznacznie opóźniony ze względu na konieczność dodatkowych prac przy generatorze i dostawę części. Pod względem kosztów, remont wykonano według założeń budżetowych. Z powodu epidemii Covid 19 i bardzo gorącego lata odstawienie kolejnego przewidzianego do remontu bloku 3 nastąpiło nieco później. 3 września 2020 r. rozpoczęto usuwanie 6240 wiązek paliwowych z 480 poziomych kanałów reaktora, co potrwa 90 dni. Strategia usuwania paliwa z rdzenia reaktora nr 3 będzie nieco zmieniona w stosunku do reaktora nr 2 ze względu na obserwacje poczynione w czasie prac remontowych.

Elektrownia Darlington może się pochwalić dodatkowym sukcesem. 15 września 2020 r. blok 1 przepracował bez wyłączenia przez 962 dni i tym samym pobił rekord światowy ciągłej pracy, który należał do elektrowni Kaiga w Indiach.

W lipcu i w sierpniu moc szczytowa w Ontario osiągała codziennie ok. 24 tys. MW. Warto zauważyć, że tyle właśnie wynosiło zapotrzebowanie w szczycie odnoto-

wane ok. 16:00 dnia 14 sierpnia 2003 r., czyli na krótko przed rozpadem sieci we wschodniej części Kanady i USA (Big Blackout). Jednak w przeciwieństwie do sytuacji sprzed 17. lat, Ontario nie polega dziś na imporcie energii elektrycznej. W 1998 r. z przyczyn głównie politycznych odstawiono ok. 4000 MW w sześciu blokach w elektrowniach Pickering i Bruce. 14 sierpnia 2003 r. wskutek awarii w stanie Ohio, Ontario straciło 2400 MW importowanej z USA energii elektrycznej. Obecnie nieawaryjne wyłączanie bloków w elektrowniach jądrowych w Ontario jest zawsze koordynowane z potrzebami sieci. Jak wspomniano, blok 3 elektrowni Darlington odstawił do remontu kapitalnego z pewnym opóźnieniem. We wrześniu 2020 r. zapotrzebowanie mocy w Ontario spadło wraz z temperaturą oscylując pomiędzy 12 i 17 tys. MW. Energia jądrowa stanowi 58,2% dostaw do sieci prowincji w ilości 90,4 TWh na rok.

Do lutego 2015, autor artykułu był pracownikiem wydziału usług inżynierskich elektrowni jądrowej Darlington 4 x 930 MW(e) brutto. W sekcjach technicznych elektrowni jądrowych typu PHWR (inaczej CANDU) przepracował 33 lata.

Dariusz Witold Kulczyński,
P. Eng.,
Darlington, Kanada



3 POLSKO-JAPOŃSKIE SEMINARIUM HTGR - PODSUMOWANIE

W tym roku Polsko-Japońskie Seminarium poświęcone technologiom reaktorów wysokotemperaturowych odbyło się w trybie zdalnym, tak jak większość tego typu wydarzeń. Organizatorzy tego udanego przedsięwzięcia przygotowali krótkie podsumowanie i zaproszenie do uczestnictwa w kolejnej edycji.



Podsumowanie 3 Seminarium na temat rozwoju technologii HTGR dla zastosowań kogeneracyjnych i ciepłych odbyło się online w dniach 22-23.10.2020 r.

Seminarium zostało zorganizowane wspólnie przez Japońską Agencję Energii Atomowej (JAEA) i Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) w wyniku wcześniejszej umowy o współpracy w zakresie rozwoju technologii wysokotemperaturowych reaktorów chłodzonych gazem (HTGR). Organizatorem seminarium byli dr Yoshitomo Inaba i dr Hirofumi Ohashi z JAEA oraz prof. Mariusz Dąbrowski i dr Karol Kowal z NCBJ. Seminarium zostało objęte patronatem Ministerstwa Edukacji, Kultury, Sportu, Nauki i Technologii Japonii (MEXT) oraz Ministerstwa Klimatu i Środowiska (MCE). Powitalne przemówienia wygłosili S. Matsuura – dyrektor Pionu Energii Atomowej Biura Badań i Rozwoju MEXT oraz dr J. Sobolewski – doradca Ministra Klimatu i Środowiska. Zaproszony referat wygłosił prof. Okamoto z Uniwersytetu Tokijskiego.

W programie znalazły się prezentacje ekspertów polskich i japońskich. Dla polskich uczestników była to pierwsza okazja do pełnego przedstawienia wyników projektu GOSPOSTRATEG-HTR fazy A oraz krótkiego przeglądu zadań fazy B. Dało to japońskim ko-

legom szeroki wgląd w zakres potencjalnych tematów do dalszych dyskusji. Dokonano przeglądu zagadnień prawnych, społecznych i ekonomicznych aspektów wdrażania technologii HTGR w Polsce wraz z technicznymi aspektami badań materiałowych i paliwowych związanych z tym problemem. W pierwszej kolejności przedstawiono najważniejsze zadanie drugiego etapu – projekt badawczego reaktora wysokotemperaturowego „TeResa”, który ma powstać w Świerku i jego ewentualne licencjonowanie zgodnie z polskim prawem.

Strona japońska przedstawiła referaty na temat roli HTGR w dekarbonizacji i jej rozwoju. Na przykładzie jednostki badawczo-demonstracyjnej HTR50S przedstawiono szczegółowo zagadnienia projektowania spalania paliwa oraz cyklu paliwowego. Ponadto przedstawiono dwa ogólne i bardzo pouczające wykłady na temat zastosowań ciepła, wśród nich, na temat produkcji wodoru.

Warto wspomnieć, że dyskusja zamykająca była poświęcona trzem „gorącym tematami” wybranym przez prowadzących, dr. Ohashi i dr. Kowala. Tematy te dotyczyły projektu reaktora badawczego w Świerku, sprzężenia elektrowni jądrowej i chemicznej do celów ciepłowniczych oraz poszukiwania nowych metod produkcji radiofarmaceutyków w HTGR.

Spotkanie zakończyło się wielkim sukcesem. Na seminarium zarejestrowało się ponad 90 polskich uczestników, przyłączyło się ok. 20 japońskich naukowców. W szczytce frekwencji 22 października było 91 uczestników, a 23 października – 78 uczestników. Seminarium miało formułę otwartą, co oznacza, że mogli wziąć w nim udział wszyscy zainteresowani technologią HTGR ze strony polskiej. Może to pomóc w integracji krajowych kompetencji w tej dziedzinie. Tryb online konferencji wymagał dopasowania stref czasowych, co oznaczało, że polscy uczestnicy brali udział w godzinach porannych, a japońscy w godzinach popołudniowych/wieczornych.

Kolejne seminarium ma się odbyć, w zależności od sytuacji pandemii, osobiście lub online w okresie od czerwca do października 2021 r. Planowane jest jeszcze większe wydarzenie wspierane z zewnętrznego funduszu.

*Marek Pawłowski,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock*

JĄDROWY PAŹDZIERNIK

Aktualizacja PPEJ

W poprzednim numerze naszego czasopisma pisaliśmy o konsultacjach publicznych dotyczących zaktualizowanego „Programu polskiej energetyki jądrowej”. Donosiliśmy m.in. o tym, że na początku sierpnia 2020 r. Ministerstwo Klimatu skierowało do konsultacji publicznych projekt uchwały Rady Ministrów w sprawie aktualizacji wieloletniego „Programu polskiej energetyki jądrowej”. Uwagi do dokumentu można było zgłaszać do 21 sierpnia br.

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

Dalsze wydarzenia miały miejsce w październiku. **5 października br.** opublikowany został **Raport z konsultacji publicznych projektu uchwały Rady Ministrów w sprawie aktualizacji programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej”¹.**

W Raporcie przypomniano, że konsultacje odbyły się z udziałem następujących podmiotów:

- związków zawodowych,
- organizacji pracodawców,
- fundacji, instytutów i szkół wyższych, stowarzyszeń, niektórych samorządów.

Łącznie wysłano projekt do 69. podmiotów. Podmioty w ramach konsultacji mogły zgłaszać uwagi w ciągu 14 dni od otrzymania pisma informującego o możliwości zgłaszania uwag.

Projekt został także umieszczony na stronie Biuletynu Informacji Publicznej ze wskazaniem adresu, na który każdy mógł wysłać uwagi (dej.konsultacje@klimat.gov.pl). W toku konsultacji tą ścieżką wpłynęły także uwagi od podmiotów innych niż podane powyżej.

A oto obszernie fragmenty Raportu Ministerstwa Klimatu.

W ramach konsultacji publicznych uwagi do projektu w sumie zgłosiło 88 podmiotów, w tym podmioty spoza Polski. Łączna liczba uwag do projektu, w tym głosów poparcia i sprzeciwu dla wdrożenia programu energetyki jądrowej w Polsce, wynosiła 539 (nie licząc uwag powtarzających się). Ministerstwo Klimatu zebrało oraz przeanalizowało wszystkie wysłane przez zain-

teresowane podmioty propozycje uwag do projektu, oraz odniosło się do nich. Zakres przedmiotowy przesyłanych uwag był szeroki i dotyczył samego projektu, jak również ogólnego stosunku do energetyki jądrowej.

Uwagę zwracają w szczególności liczne głosy poparcia dla rozwoju energetyki jądrowej pochodzące od organizacji społecznych, w tym ekologicznych, a także od osób fizycznych. W tym kontekście wymienić należy następujące organizacje ekologiczne: Stowarzyszenie „Prawo do Przyrody”, Stowarzyszenie MOST, Fundacji Dzika Polska, Stowarzyszenie Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej, FOTA4Climate oraz następujące inne organizacje społeczne i pozarządowe: Obywatelski Ruch na Rzecz Energetyki Jądrowej, Federacja Stowarzyszeń Naukowo-Technicznych Naczelna Organizacja Techniczna, Fundacja nuclear.pl, Fundacja Forum Atomowe. Główną osią tych komentarzy i spostrzeżeń jest rola, jaką energetyka jądrowa odgrywa w walce ze zmianami klimatycznymi z uwagi na bezemisyjny cykl pracy oraz inne korzyści dla środowiska (np. ochrona bioróżnorodności w porównaniu do innych źródeł). Zwracano uwagę także na przyczynienie się energetyki jądrowej do wzmocnienia bezpieczeństwa energetycznego Polski oraz korzyści dla społeczeństwa i gospodarki, jakie wiążą się z wdrożeniem tej technologii, m.in. wskazywano na pozytywny wpływ na konkurencyjność polskiego przemysłu, jak również możliwości związane z zaangażowaniem polskich firm w realizację projektu. Kierunkowemu poparci dla rozwoju energetyki jądrowej wyrażanemu w stanowiskach wyżej wymienionych organizacji często towarzyszyły uwagi merytoryczne dotyczące bezpośrednio dokumentu bądź uwagi ogólne dotyczące szerszego wymiaru polityki energetycznej i klimatycznej, jak np. konieczność oparcia miksu energetycznego na energetyce jądrowej w podstawie systemu z zagwarantowaniem równie istotnej roli OZE. Nie brakowało sugestii przyspieszenia działań w zakresie budowy elektrowni jądrowych w Polsce.

Przeciwnicy wdrożenia energetyki jądrowej domagali się (mimo braku takiej potrzeby) przeprowadzenia strategicznej oceny oddziaływania na środowisko projektu aktualizacji PPEJ, podnosili, że informacje nt. istotnych czynników wpływających na środowisko (np. wydobycia uranu, składowania odpadów promieniotwórczych) są niewystarczające oraz podnosili brak zasadności wprowadzania energetyki jądrowej. Jednoznaczny sprzeciw wobec planów wdrożenia energetyki jądrowej wyraziły: Stowarzyszenie Ekologiczno-Turystyczne Lubiatowska Wydma, Polski Klub Ekologiczny Okręg Pomorski oraz niektóre osoby fizyczne.

Oddzielną grupę stanowiły uwagi niekwestionujące PPEJ jako całości ani ogólnej idei wdrożenia energetyki jądrowej, ale odnoszące się do poszczególnych elementów dokumentu. Uwagi te dotyczyły zarówno proponowanego harmonogramu wprowadzenia w Polsce energetyki jądrowej, jak i kwestii technicznych, szcze-

¹ Raport można znaleźć pod adresem: <https://bip.mos.gov.pl/prawo/inne-projekty/projekt-uchwaly-rady-ministrow-w-sprawie-aktualizacji-programu-wieloletniego-pod-nazwa-program-polskiej-energetyki-jadrowej-etap-rady-ministrow/>

gólnie tych zawartych w procesie wyboru technologii, wyboru partnera strategicznego, kwestii cyklu paliwowego, kwestii należytych środków ochrony środowiska. Uwagi dotyczyły także rozwoju kadr oraz infrastruktury krajowej na potrzeby energetyki jądrowej (przy wskazaniu dróg rozwoju krajowego systemu energetycznego na jej potrzeby), kwestii wsparcia krajowego przemysłu w przygotowaniach do udziału w budowie i eksploatacji elektrowni jądrowych oraz roli instytucji dozoru jądrowego w Polsce.

Dużo uwag dotyczyło kwestii założeń do analizy kosztów wytwarzania energii elektrycznej. Znaczna ich część miała charakter redakcyjny lub związana była z czytelnością dokumentu i uwzględniono je w zależności od stopnia zasadności. Warto również zaznaczyć, że ze względu na strategiczny charakter programu rozwoju energetyki jądrowej dla Państwa, analizy zostały przeprowadzone w oparciu o metodykę kosztu całkowitego, uwzględniając wszelkie koszty ponoszone przez gospodarkę z tytułu produkcji energii elektrycznej. Różnicą zastosowanej metodyki względem standardowych analiz sektora elektroenergetycznego jest rozszerzenie puli kosztów rozpatrywanych przez model o dodatkowe pozycje (koszt systemowy i środowiskowy).

Szeroki odzew różnego rodzaju podmiotów wskazuje na wagę projektu i jego znaczenie w przestrzeni publicznej. Wnioski z konsultacji publicznych oraz

wynikające z nich rekomendacje podmiotów z wielu środowisk po przeanalizowaniu przez Ministerstwo Klimatu w uzasadnionych przypadkach zostały uwzględnione w zaktualizowanym projekcie.

Proces konsultacji społecznych został przeprowadzony w sposób prawidłowy. Czas wyznaczony na konsultacje był odpowiedni, a ilość uwag przesłanych przez podmioty uczestniczące w procesie konsultacji była znacząca.

Autor niniejszego przeglądu wydarzeń dotyczących PPEJ dokonał bardzo pobieżnej analizy **Zestawienia uwag zgłoszonych w ramach konsultacji publicznych i opiniowania PPEJ**.²

A oto moje spostrzeżenia. Zdecydowana większość uwag nie została uwzględniona. Znaczną ilość uwag zakwalifikowano jako polemiczne albo jako niewymagające zmian w ocenianym dokumencie.

Uchwała Rady Ministrów w sprawie aktualizacji PPEJ

Poprawiony PPEJ został przyjęty uchwałą Rady Ministrów **w dniu 2 października 2020 r.** i opublikowany w Monitorze Polskim poz. 946 **w dniu 16 października br.**³

Poniżej treść tej, być może historycznej, Uchwały

Warszawa, dnia 16 października 2020 r.

Poz. 946

UCHWAŁA NR 141 RADY MINISTRÓW

z dnia 2 października 2020 r.

w sprawie aktualizacji programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej”

Na podstawie art. 19 ust. 2 ustawy z dnia 6 grudnia 2006 r. o zasadach prowadzenia polityki rozwoju (Dz. U. z 2019 r. poz. 1295 i 2020 r. poz. 1378) oraz art. 108d ust. 1 ustawy z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe (Dz. U. z 2019 r. poz. 1792 oraz z 2020 r. poz. 284 i 322) Rada Ministrów uchwała, co następuje:

§ 1. Przyjmuje się aktualizację Programu polskiej energetyki jądrowej, zwanego dalej „Programem”, stanowiącego załącznik do uchwały.

§ 2. Okres realizacji Programu ustala się na lata 2020–2033 (z perspektywą do 2040 r.).

§ 3. Koordynowanie i nadzorowanie realizacji Programu powierza się ministrowi właściwemu do spraw energii.

§ 4. Traci moc uchwała nr 15/2014 Rady Ministrów z dnia 28 stycznia 2014 r. w sprawie programu wieloletniego pod nazwą „Program polskiej energetyki jądrowej” (M.P. poz. 502).

§ 5. Uchwała wchodzi w życie z dniem następującym po dniu ogłoszenia.

Prezes Rady Ministrów: *M. Morawiecki*

² Zestawienie znaleźć można pod adresem podanym na pierwszej stronie niniejszego tekstu).

³ <http://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WM-P20200000946/O/M20200946.pdf>

Umowa o współpracy w dziedzinie energetyki jądrowej z USA

Także w październiku miało miejsce inne ważne wydarzenie.

22 października br. Polska podpisała umowę atomową z USA. Kilka dni wcześniej (**19 października br.**) umowę podpisał szef Departamentu Energii USA Dan Brouillette.

Oto szczegółowe informacje na temat umowy opublikowane przez portal BiznesAlert.⁴

Pełnomocnik rządu ds. strategicznej infrastruktury energetycznej Piotr Naimski podpisał w imieniu Polski porozumienie z USA o trzydziestoletniej współpracy w cywilnym sektorze jądrowym. Za 18 miesięcy poznamy propozycję finansową i techniczną Amerykanów mającą umożliwić budowę pierwszej polskiej elektrowni jądrowej.

W spotkaniu wzięli udział także ambasador Polski w USA Piotr Wilczek oraz szef departamentu energii jądrowej ministerstwa klimatu i środowiska Tomasz Nowacki.



Fot.1. Piotr Naimski podpisuje umowę o współpracy przy atomie z USA. (fot. Biuro pełnomocnika)

„– Tworzymy komitet sterujący polsko-amerykański, który będzie monitorował postęp prac. Równocześnie po naszej stronie wszczęliśmy kroki formalne, które przekształcą istniejącą spółkę-córkę PGE EJ1 w podmiot gospodarczy, który zrealizuje nasz program i w przynajmniej początkowym okresie będzie stuprocentową własnością skarbu państwa – tłumaczył gospodarz konferencji”.

Biuro pełnomocnika informuje, że całość prac koordynować będzie wspólny, polsko-amerykański Komitet Sterujący. W jego pracach przez najbliższe miesiące uczestniczyć będą przedstawiciele obu rządów, ale także agend i instytucji finansowych, oraz eksperci z doświadczeniem w realizacji strategicznych inwestycji w sektorze energetyki. Komitet przygotuje końcowy raport koncepcyjno-wykonawczy, który stanowić będzie podstawę dla polskiego rządu do decyzji o wyborze technologii oraz strategicznego partnera przy realizacji 20-letniego programu budowy elektrowni jądrowych w Polsce.

„– Przewidujemy w programie udział partnera zarówno kapitałowy, jak i praktyczny, także w postaci objęcia udziałów we wspólnej spółce joint venture. To jest przedmiot rozważań przez następne 18 miesięcy. Bardzo ważnym elementem tej oferty dla polskiego rządu jest struktura finansowania, która będzie omawiana wspólnie, bo przewidujemy, że partner powinien być zaangażowany kapitałowo w tę inwestycję. Pozostanie z nami w fazie eksploatacyjnej elektrowni. To oznacza, że będziemy razem odpowiedzialni za funkcjonowanie tej elektrowni przez kilkadziesiąt lat – powiedział minister przed podpisaniem dokumentu”.

Minister tłumaczył, że atom zapewni stabilność dostaw energii w tak zwanej podstawie. „– To także kwestia wybicia się Polski do rangi krajów, które są energetycznie niezależne i suwerenne – przekonywał”.

„– Nie wyobrażam sobie, abyśmy w perspektywie 20, 30 lat mogli doprowadzić do transformacji energetycznej w Polsce z sukcesem bez udziału sektora energetyki jądrowej. To kwestia w zasadzie zrozumiała dla większości także tych firm i polityków, którzy dzisiaj optują za odnawialnym, zielonym ładem i transformacją. Jest już coraz bardziej jasne dla wszystkich, że to będzie możliwe, jeżeli równolegle i równocześnie będziemy rozwijali te źródła i technologie produkcji prądu elektrycznego, które są stabilne i pracują w podstawie. Jeżeli w perspektywie kilkadziesiąt lat wykluczamy paliwa kopalne, to wydaje się, że alternatywa jest w energetyce jądrowej i to jest już przyjęte, także na poziomie formułowanych strategii i planów inwestycyjnych – mówił Piotr Naimski”.

⁴ (<https://biznesalert.pl/polska-usa-umowa-piotr-naimski-podpis-energetyka-atom/>)

Biuro pełnomocnika dodaje, że w perspektywie wieloletniej opisywana umowa definiuje całe spektrum obszarów współpracy pomiędzy Polską i Stanami Zjednoczonymi. Dotyczy to zarówno wsparcia zaangażowanych podmiotów gospodarczych, jak i działań na poziomie rządowym. Działania te będą dotyczyć m.in.:

- regulacji, badań, szkolenia kadr,
- rozwoju łańcuchów dostaw,
- kampanii mających na celu wzrost świadomości społecznej w zakresie cywilnej energetyki jądrowej,
- współpracy przy projektach w energetyce jądrowej w Europie.

„– Nie ma takiej możliwości, by w dzisiejszych czasach zbudować elektrownię jądrową bez wsparcia państwa, czyli pomocy publicznej. To kwestia finansowa po naszej stronie tej polskiej części w programie trwającym 20 lat. To kwestia przewidywalności tego wydatkowania i przygotowania się do poniesienia tych kosztów – tłumaczył. – Inna sprawa to zgoda Komisji Europejskiej na pomoc publiczną przy tej inwestycji. Będziemy kontynuować rozmowy na ten temat z Komisją Europejską mając strukturę finansowania i budżet – dodał”.

„– Na poziomie dokumentów unijnych (m.in. taksonomii) trwa dyskusja o tym, czy technologia nuklearna ma być traktowana jako wspomagająca zieloną transformację, czy jest obojętna. My jesteśmy za tym, aby potraktować ją jako wspomagającą – powiedział minister w odpowiedzi na pytanie BiznesAlert.pl o to, czy atom polski może być blokowany na poziomie unijnym. – Nie spodziewamy się, aby z poziomu Unii Europejskiej była możliwość finansowania, czy dofinansowania energetyki jądrowej. To będą suwerenne decyzje na poziomie krajowym, także w Polsce. Wydatki będą ponoszone na tym poziomie. Kraje, które będą chciały być czysto zielone doskonale będą rozumiały, że jeśli potraktujemy Unię Europejską jako jeden rynek energetyczny, to on musi się zbilansować”.

Umowa ta wyznacza kilka ważnych kamieni milowych, nie tylko umacnia stosunki polsko-amerykańskie, ale jest zapowiedzią dla reszty świata, że dzięki przelomowej technologii Ameryka powróciła do biznesu nuklearnego. Energia jądrowa nigdy nie była bezpieczniejsza, bardziej przystępna cenowo i bardziej elastyczna. Jesteśmy gotowi pomóc naszym partnerom w osiągnięciu bezpieczeństwa energetycznego i korzyści dla środowiska poprzez zapewnienie zarówno technologii, jak i finansowania – mówi cytowana w komunikacie ambasador USA w Polsce, Georgette Mosbacher.⁵

⁵ <https://businessinsider.com.pl/wiadomosci/jest-umowa-ws-atomu-miedzy-polska-a-usa/e5tjtns>

Polska zwróci się do Komisji Europejskiej o zatwierdzenie pomocy publicznej na budowę pierwszej w kraju elektrowni jądrowej – poinformował **22 października br.** dziennikarza Reutera sekretarz stanu ds. Strategicznej infrastruktury energetycznej Piotr Naimski. „W dzisiejszych czasach nie da się zbudować elektrowni atomowej bez wsparcia państwa” – powiedział Naimski.⁶

SYNTHOS rozpoczął proces regulacyjny z PAA w sprawie budowy reaktora SMR

Głównie zachodnie portale (NUCNET, World Nuclear News) doniosły właśnie, (**29 października br.**)⁷, że spółka **SYNTHOS Green Energy (SGE) rozpoczęła rozmowy z polskim regulatorem jądrowym na temat potencjalnego projektu budowy małego reaktora modułowego (SMR) GE Hitachi Nuclear BWRX-300. SGE zwraca się do regulatora, Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), o opinię ogólną, którą określiła jako pierwszy etap procedury poprzedzającej proces regulacyjny dotyczący planowanej budowy elektrowni jądrowej w Polsce.**

Zgodnie z ustawą z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe, SGE może zwrócić się do PAA o wydanie ogólnej opinii o rozwiązaniach organizacyjno-technicznych, jakie należy zastosować przy budowie i eksploatacji potencjalnego obiektu jądrowego w Polsce przed wystąpieniem o pozwolenie na budowę. SGE, wchodząca w skład Grupy Synthos SA, poinformowała, że jej propozycja została przygotowana we współpracy ze strategicznymi partnerami Fortum Power and Heat Oy, Exelon Generation i GEH.

Prezes SGE Rafał Kasprów powiedział, że zapytanie do PAA pozwoli określić zakres pełnego wniosku o opinię ogólną. „To pierwszy krok i jesteśmy gotowi, aby przejść do procesu regulacyjnego wspólnie z PAA” – powiedział.

„SGE i jej partnerzy strategiczni są głęboko przekonani, że technologia SMR, taka jak BWRX-300 firmy GEH, może być częścią planu głębokiej dekarbonizacji polskiej energetyki i przemysłu” – powiedział Michał Sołowow, właściciel Grupy Synthos.

GEH i Synthos SA ogłosiły w październiku 2019 r. Porozumienie o współpracy w zakresie potencjalnych aplikacji wdrożeniowych dla BWRX-300 w Polsce. SGE i GEH podpisały na początku tego miesiąca strategiczną umowę o współpracy w zakresie rozwoju i wdrożenia BWRX-300, 300 MWe SMR, wywodzącego się

⁶ <https://biznesalert.pl/wrobek-gate-brussels-polska-atom-prawo-ue-energetyka>

⁷ <https://www.nucnet.org/news/geh-and-synthos-begin-discussions-with-regulator-for-potential-smr-10-4-2020>

z projektu ekonomicznego uproszczonego reaktora z wrzącą wodą (ESBWR) firmy GEH o mocy 1520 MWe.

„Dzięki naszemu podejściu od projektu do kosztów uważamy, że jesteśmy przygotowani do pomocy SGE i Polsce w zaspokojeniu zapotrzebowania na czystą, stabilną i przystępną cenowo energię” – powiedział Jon Ball, wiceprezes wykonawczy ds. produktów jądrowych w GEH. „Z niecierpliwością czekamy na wsparcie SGE, ponieważ rozważa ona wdrożenie tej przełomowej technologii w celu zaspokojenia potrzeb energetycznych Polski i pomoc w osiągnięciu celów dekarbonizacji”.

SGE powstała w celu opracowania i wdrożenia technologii zeroemisyjnych i produkcji energii elektrycznej z odnawialnych źródeł energii dla Grupy Synthos, która jest największą prywatną grupą przemysłową w Polsce.

Bezpieczna praca reaktora MARIA potwierdzona

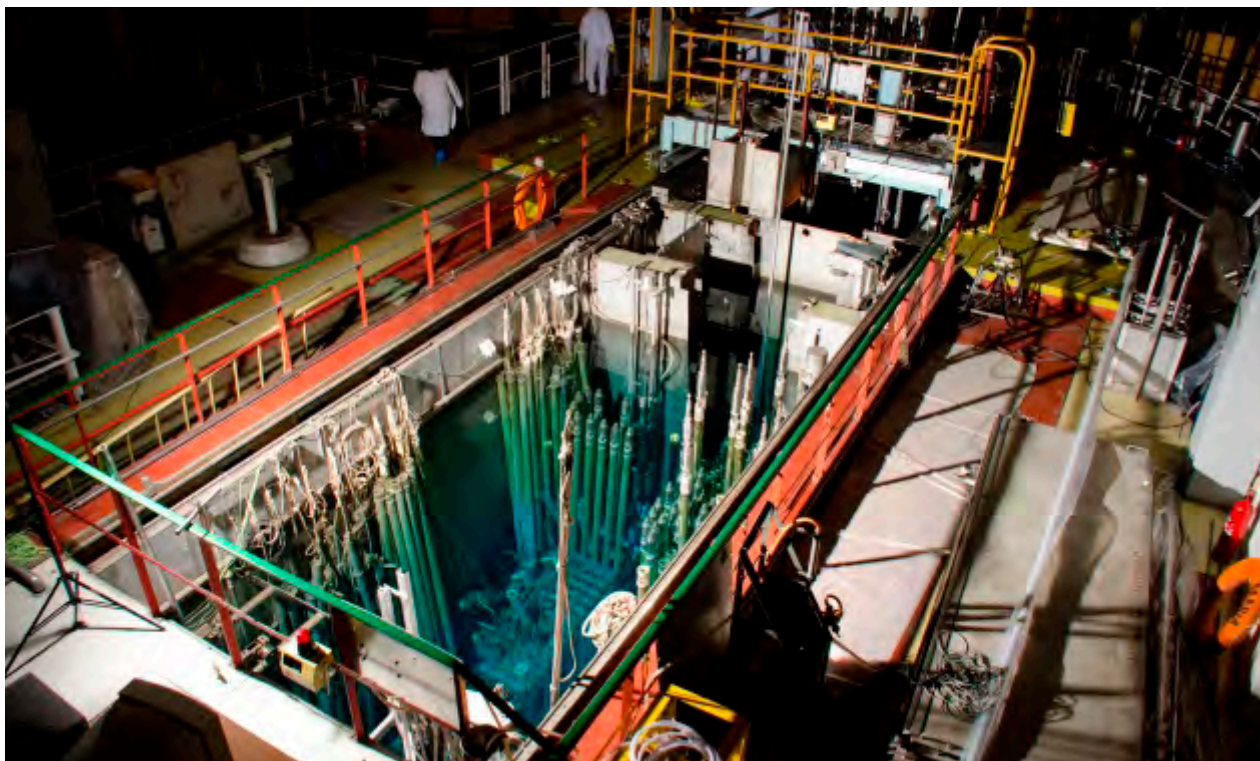
I wreszcie ostatnia październikowa informacja jądrowa. Nie dotyczy ona energetyki jądrowej, lecz jedyne polskiego reaktora badawczego MARIA.

Otóż 23 października 2020 r. Prezes Państwowej Agencji Atomistyki (PAA), jako organ regulacyjny, zatwierdził Raport oceny okresowej bezpieczeństwa (PSR, z ang. Periodic Safety Review) reaktora badawczego MARIA.⁸

Przeгляд ten odbył się w latach 2018-2019 i wykazał, że w reaktorze spełniane są wszelkie standardy dotyczące bezpieczeństwa i zarekomendowana została jego dalsza eksploatacja. Ma to wpływ na dalsze losy obiektu, gdyż reaktor posiada pozwolenie na eksploatację do 2025 r. Ocena potwierdziła, że jedyny pracujący reaktor w Polsce jest bezpiecznym urządzeniem i zasadne będą starania o przedłużenie jego pracy.

Celem ocen okresowych jest weryfikacja poziomu bezpieczeństwa obiektu poprzez szczegółową analizę istotnych dla eksploatacji obiektu zagadnień, w tym potwierdzenie, że:

- systemy, wyposażenie i urządzenia obiektu jądrowego zapewnią bezpieczną pracę obiektu w kolejnych latach eksploatacji,
- obiekt jądrowy jest dostosowany do przepisów prawnych, a podczas eksploatacji stosuje międzynarodowe dobre praktyki,



Fot.2. Reaktor badawczy MARIA (fot. NCBJ)

⁸ https://www.paa.gov.pl/aktualnosc-572-prezes_paa_zatwierdzil_raport_z_oceny.html,
<https://www.ncbj.gov.pl/aktualnosci/raport-okresowej-oceny-bezpieczenstwa-marii-zatwierdzony>,
<https://www.ncbj.gov.pl/aktualnosci/bezpieczna-praca-reaktora-maria-potwierdzona>

- dokumentacja obiektu jądrowego jest aktualna i adekwatna do prowadzonej działalności.

Przegląd pozwala też ocenić, czy obiekt spełnienia krajowe i międzynarodowe wymagania bezpieczeństwa oraz, czy posiada aktualną dokumentację eksploatacyjną.

Zgodnie ze zmianą przepisów z 2011 r., każdy obiekt jądrowy nie rzadziej niż raz na 10 lat musi przeprowadzić okresową ocenę bezpieczeństwa. Każdorazowo skupia się ona na zmianach w obiekcie od zakończenia poprzedniej oceny okresowej, a w przypadku pierwszej oceny – na okresie od początku eksploatacji obiektu jądrowego. Z tego powodu obecna pierwsza ocena okresowa bezpieczeństwa reaktora MARIA uwzględnia modernizacje i zmiany przeprowadzone od początku eksploatacji w 1974 r. i ocenia ich wpływ na bezpieczeństwo jądrowe i ochronę radiologiczną. Ocena uwzględnia więc 45 lat bezawaryjnej pracy reaktora.

Ze względu na swoją kompleksowość, ocena okresowa bezpieczeństwa reaktora MARIA została podzielona na 13 zagadnień tematycznych. Pod uwagę wzięto m.in. stan elementów wchodzących w skład reaktora, wpływ na środowisko oraz ocenę procedur. Na podstawie analiz zagadnień tematycznych opracowany został raport zawierający podsumowanie przeglądu oraz program modernizacji i działań naprawczych.

Zatwierdzenie raportu przez Prezesa PAA dowodzi, że reaktor MARIA jest wykorzystywany w sposób bezpieczny i zgodny z przepisami, i otwiera drogę do dalszej jego eksploatacji. MARIA służy nie tylko do prowadzenia badań materiałowych i technologicznych, ale także do naświetla materiały tarczowe do produkcji radioizotopów oraz znajduje zastosowanie w badaniach medycznych poprzez prace nad terapią borowo-neutronową.

*Fragmety tekstów
z podanych w tekście źródeł wybrał
dr Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

PROJEKT BADAWCZO-ROZWOJOWY W ZAKRESIE NIEKOMERCYJNYCH BADAŃ KLINICZNYCH Z AGENCJI BADAŃ MEDYCZNYCH



AGENCJA
BADAŃ
MEDYCZNYCH

Celem badania jest ocena skuteczności leczenia za pomocą innowacyjnej metody, z użyciem zupełnie nowego radiobiokoniugatu znakowanego emiterem alfa – ^{225}Ac -DOTATATE chorych z nowotworami neuroendokrynnymi i nieresekcyjnymi przerzutami do wątroby i/lub zmianami w innych narządach, z postępującym obrazem choroby na dotychczas stosowanych metodach leczenia.

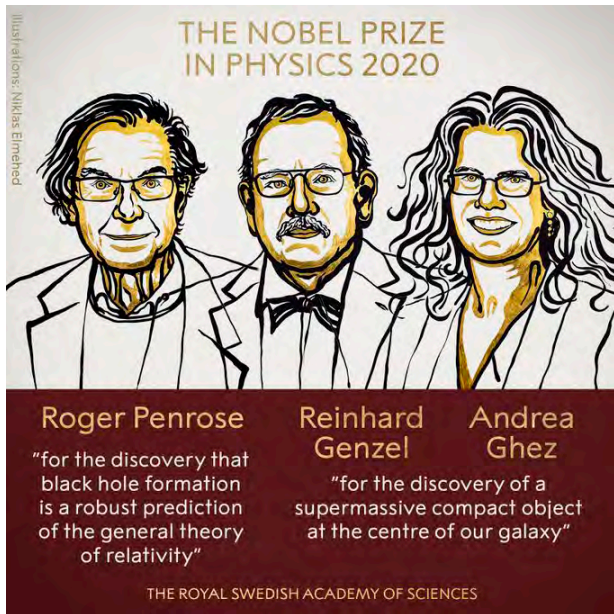
Projekt realizowany jest w ramach konsorcjum ze Szpitalem Klinicznym MSWiA w Warszawie, Pomorskim Uniwersytetem Medycznym w Szczecinie oraz European Commission, Joint Research Centre w Karlsruhe. Projekt uzyskał 17,2 mln dofinansowania na niekomercyjne badania kliniczne ze środków ABM na okres 4,5 roku.

*dr inż. Agnieszka Majkowska-Pilip,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

NOBLIŚCI Z FIZYKI

Sir Roger Penrose to jeden z najwybitniejszych fizyków i matematyków. Po raz pierwszy zasłynął, gdy razem ze Stephenem Hawkingiem udowodnił twierdzenie o osobliwościach w ogólnej teorii względności. Naukowiec został nagrodzony za odkrycie, że tworzenie czarnych dziur jest solidną przepowiednią ogólnej teorii względności.

Reinhard Genzel to niemiecki astrofizyk. Jako jeden z pierwszych naukowców śledził ruchy gwiazd w centrum Drogi Mlecznej wykazując, że krążyły one wokół bardzo masywnego obiektu, prawdopodobnie czarnej dziury.



Fot.1. Tegoroczni laureatci Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki. Od lewej: Roger Penrose, Reinhard Genzel i Andrea Ghez – kosmolog i dwóch astronomów (źródło nobelprize.org, (rys. Niklas Elmehed))

Andrea Ghez to amerykańska astronom pracująca na Uniwersytecie Kalifornijskim w Los Angeles, znana przede wszystkim z pracy nad badaniem Drogi Mlecznej.

Genzel i Ghez otrzymali nagrodę za odkrycie „supermasywnego obiektu kompaktowego w centrum naszej galaktyki”.

*Redakcja Postępów Techniki Jądrowej,
Warszawa*

PROF. MEISSNER: PENROSE TO CZŁOWIEK MYŚLĄCY W SPOSÓB PROSTOPADŁY DO TEGO, CO SIĘ NARZUCA

Roger Penrose to człowiek skoncentrowany na fizyce, myślący w sposób prostopadły do tego, co się narzuca — powiedział fizyk, prof. Krzysztof Meissner. Dodał, że noblista jest jego przyjacielem, z którym spędził na rozmowach tysiące godzin i przygotował wspólną publikację.

Roger Penrose, Richard Genzel i Andrea Ghez – to tegoroczni laureaci Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki. Komitet Noblowski nagroził ich za wykazanie, że istnienie czarnych dziur wynika z ogólnej teorii względności oraz za odkrycie supermasywnego gęstego obiektu w centrum naszej Galaktyki.

Prof. Krzysztof Meissner z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego podczas debaty w Centrum Współpracy i Dialogu UW zorganizowanej z okazji tygodnia noblowskiego powiedział, że Roger Penrose to jego bardzo bliski przyjaciel. „Korespondujemy ze sobą w zasadzie codziennie od wielu lat” — powiedział Meissner.

„Penrose wniósł niebywale dużo do Ogólnej Teorii Względności, rozumie ją najlepiej na świecie” — uważa Meissner. Wyjaśnił, że Penrose, kiedy zaczął się zajmować teorią względności, miał doskonale przygotowa-



Fot.1. Komitet Noblowski nagroził Rogera Penrose, Richarda Genzela i Andrea Ghez w dziedzinie fizyki Nagrodą Nobla (źródło EPA 06.10.2020)

nie matematyczne, więc zaczął bardzo szybko widzieć w niej to, co innym trudno było zobaczyć.

Penrose zajmował się też jednak równolegle problemami matematycznymi. Np. tzw. kafelkowaniem (jego pomysłem jest tzw. parkietaż Penrosa, w którym pokazał, jak pokryć płaszczyznę za pomocą dwóch rodzajów figur tak, aby wzór nie powtarzał się okresowo po przesunięciu). Przykładem takiego nieokresowego parkietażu obserwowanym w przyrodzie są kwazikryształy, za które przyznano w 2011 r. Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii. Zdaniem prof. Meissnera Nobel należał się Penrose'owi już za kwazikryształy.

„To człowiek skoncentrowany na fizyce, myślący prostopadle do zwykłego narzucającego się sposobu myślenia. Mawiam, że gdyby student przyszedł do mnie i mówił to, co Penrose, to bym go wyrzucił. Ale ponieważ mówi to Penrose, to muszę się cztery razy zastanowić, zanim powiem, że coś jest nie tak. A on na ogół ma rację” — mówił ze śmiechem Meissner w rozmowie z PAP.

Dodał, że Penrose ma wprawdzie słaby wzrok, ale dzięki swojej wyobraźni — widzi to, czego nie widzą inni. Dlatego rozmowa z matematykiem bywa trudna — jest on sobie w stanie wyobrazić coś, z czym inni mają problemy.

„Kiedyś zamknąłem się z nim na trzy dni w klasztorze w Czerwińsku, żeby nam nikt nie przeszkadzał. I trzy dni rozmawialiśmy o pewnej koncepcji” — wspominał prof. Meissner.

Fizyk z UW opowiedział, że wspólnie z noblistą napisał publikację naukową. „Dotyczy ona koncepcji Penrosa, że nasz Wszechświat jest jednym z wielu następujących po sobie kolejno Wszechświatów — które on nazywa eonami” — opisał. Prof. Meissner wyjaśnił, że chodziło o to, czy w naszym Wszechświecie są ślady po poprzednim Wszechświecie, czy może jest to koncepcja, której nie można sprawdzić. „My twierdzimy, że promieniowanie tła, które nas otacza, sprzed 14 mld lat, niesie ze sobą informacje, co było w poprzednim Wszechświecie” — powiedział.

Dodał, że badania Penrose'a o czarnych dziurach dotyczą teorii. Zaś Richard Genzel i Andrea Ghez — czyli pozostali dwójka tegorocznych noblistów — prowadzili obserwacje związane z tymi obiektami. Obserwując ruch gwiazd wokół centrum galaktyki byli w stanie potwierdzić, że w centrum naszej Galaktyki jest czarna dziura.

Ludwika Tomala,
PAP — Nauka w Polsce,
Warszawa

NOBLE Z CHEMII DLA KOBIECI

Do znakomitego grona noblistek w dziedzinie chemii dołączyły w roku 2020 dwie wybitne uczone: prof. Emmanuelle Charpentier i prof. Jennifer A. Doudna. Badaczki nagrodzono za przełomowe odkrycie, które środowisko naukowe określiło jako najpotężniejsze w historii biologii molekularnej. Opracowały one mechanizm znany jako „Crispr/Cas9”, czyli „nożyczki molekularne”, zdolne do modyfikowania genomów. Dzięki „nożycom DNA” naukowcy będą mieli możliwość wprowadzenia zmian w kodzie genetycznym roślin i w ten sposób tworzyć nowe odmiany roślin uprawnych, charakteryzujących się odpornością na choroby wirusowe, bakteryjne i grzybowe. Odkrycie otwiera również drogę do nowych terapii antynowotworowych i pomoże w leczeniu chorób genetycznych. Warto dodać, że ostatni raz Nagroda Nobla w dziedzinie chemii została przyznana kobiecie ponad 100 lat temu, w 1911 r., kiedy to nagrodzono prof. Marię Skłodowską-Curie. W latach późniejszych wyróżniono jeszcze cztery kobiety: Irenę Joliot-Curie (1935), Dorothy Crowfoot Hodgkins (1964), Adę Jonath (2009), i Frances Arnold (2018), ale wspólnie z mężczyznami.

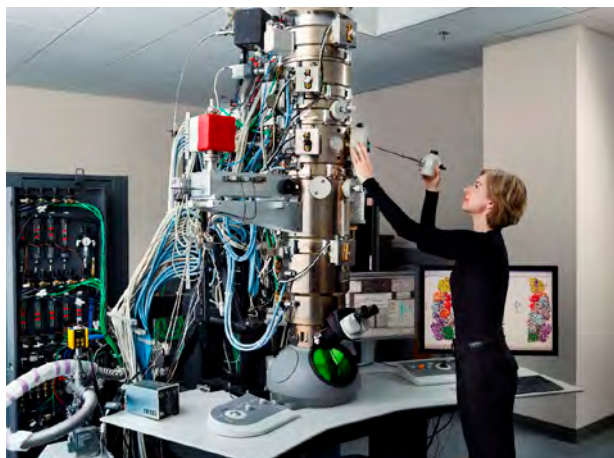
Za „nożyczki molekularne” obie badaczki otrzymały już w 2016 r. międzynarodową nagrodę L'Oréal-UNESCO For Women in Science International Awards. O polskich edycjach tych nagród piszemy co roku. W dzisiejszych czasach mamy do czynienia z poważnymi kryzysami zdrowotnymi, społecznymi i gospodarczymi, dlatego właśnie teraz, bardziej niż kiedykolwiek świat potrzebuje nauki, a nauka potrzebuje kobiet — powiedziała Alexandra Palt, wiceprezes Fundacji L'Oréal. Pomimo naturalnych predyspozycji i wyjątkowych osiągnięć, kobiety na całym świecie stanowią zaledwie 29% naukowców. Ma to rzeczywisty



Fot.1. Francuzka Emmanuelle Charpentier i Amerykanka Jennifer A. Doudna to tegoroczne laureatki Nobla z chemii. Zostały nagrodzone za opracowanie metody edycji genomu (źródło <https://sciencebusiness.net/>)



Fot. 2. Emmanuelle Charpentier jest dyrektorem oddziału zajmującego się badaniem patogenów w Instytucie Biologii Zakaźnej im. Maxa Plancka w Berlinie



Fot. 3. Jennifer A. Doudna jest profesorem Uniwersytetu Kalifornijskiego w Berkeley, prowadzi też badania w Instytucie Medycznym Howarda Hughesa (fot. archiwum L'Oreal)

i bezpośredni wpływ na jakość badań. Od roku 1901, kiedy to Nagrodę Nobla w dziedzinie fizyki, chemii i medycyny przyznano po raz pierwszy, nagrodzono nią łącznie 621 naukowców, w tym tylko 22 badaczki. Dotychczas trzy laureatki globalnego Programu L'Oréal-UNESCO for Women in Science International Awards otrzymały Nagrodę Nobla: Nüsslein-Volhard (w dziedzinie medycyny w 1995 r.), Ada Yonath (w dziedzinie chemii w 2009 r.), Elizabeth H. Blackburn (w dziedzinie medycyny w 2009 r.). To grono w tym roku powiększyło się o dwie wybitne uczone.

*dr inż. Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

POLSKIE NOBLE 2020

Tegoroczna gala wręczenia Nagród Fundacji na rzecz Nauki Polskiej 2020 odbyła się jak zwykle na początku grudnia, ale tym razem w formie internetowej. Nagrody uznawane za najważniejsze wyróżnienie naukowe w Polsce są przyznawane za szczególne osiągnięcia i odkrycia naukowe, które przesuwają granice poznania i otwierają nowe perspektywy poznawcze, wnoszą wybitny wkład w postęp cywilizacyjny i kulturowy naszego kraju oraz zapewniają Polsce znaczące miejsce w podejmowaniu najbardziej ambitnych wyzwań współczesnego świata. Wysokość nagrody wynosi 200 tys. zł. Symbolicznie wyróżnienia odebrali wybitni polscy uczeni: prof. Jacek Radwan, prof. Ewa Górecka, prof. Krzysztof M. Górski, prof. Romuald Schild. Nagrody zostały wręczone po raz dwudziesty dziewiąty, ale po raz pierwszy w formule on-line. W programie wydarzenia znalazły się przemówienia czworga laureatów, a także wystąpienia prof. Tomasza Guzika, przewodniczącego Rady FNP i prof. Macieja Żylicza, prezesa Fundacji na rzecz Nauki Polskiej. Zaprezentowano również krótkie filmy na temat osiągnięć naukowych laureatów. Nagroda Fundacji na rzecz Nauki Polskiej jest nagrodą indywidualną, przyznawaną przez Radę FNP w drodze konkursu. Kandydatów do tego wyróżnienia zgłaszają wybitni przedstawiciele nauki zaproszeni imiennie przez Zarząd i Radę Fundacji. Rada FNP pełni rolę Kapituły konkursu i dokonuje wyboru laureatów na podstawie opinii niezależnych ekspertów i recenzentów – głównie z zagranicy – oceniających dorobek kandydatów.

Profesor Jacek Radwan z Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu – nagroda w obszarze nauk o życiu i o Ziemi za wykazanie roli ewolucyjnego mechanizmu optymalizacji zmienności genetycznej w kształtowaniu odporności na patogeny i tolerowaniu własnych antygenów. Nagrodzone przez FNP badania prof. Radwana dotyczą układu odpornościowego, a konkretnie wyjaśnienia, dlaczego nie zawsze jest on zdolny odpowiedzieć na atak organizmów patogennych.

Profesor Ewa Górecka z Uniwersytetu Warszawskiego – nagroda w obszarze nauk chemicznych i o materiałach za otrzymanie materiałów ciekłokrystalicznych o strukturze chiralnej zbudowanych z niechiralnych molekuł. Efekty tego osiągnięcia mogą być w przyszłości zastosowane do stworzenia materiałów ciekłokrystalicznych nowej generacji. Otwierają też perspektywy zastosowań w zakresie nowatorskich materiałów optycznych oraz urządzeń przechowujących informacje.

Profesor Romuald Schild z Instytutu Archeologii i Etnologii PAN w Warszawie – nagroda w obszarze nauk humanistycznych i społecznych za wskazanie klimatycznych i środowiskowych uwarunkowań procesów społeczno-kulturowych w epoce kamienia na obszarach Afryki Północnej i Niżu Europejskiego.

Profesor Krzysztof M. Górski z Uniwersytetu Warszawskiego i NASA Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology (Caltech) – nagroda w obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich za opracowanie i wdrożenie metodologii analizy map promieniowania relikтового, kluczowych dla poznania wczesnych etapów ewolucji Wszechświata.



Fot.1. Prof Krzysztof Górski (fot. FNP)

Prace prof. Krzysztofa M. Górskiego obejmują odkrycia w dziedzinie kosmologii obserwacyjnej, wielkoskalowej struktury Wszechświata i powstawania galaktyk. W ostatnich trzech dekadach zaangażowany był w dynamicznie rozwijającą się dziedzinę kosmologii – badania mikrofalowego promieniowania tła (CMB).

Kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła, zwane promieniowaniem reliktowym, to najstarszy znany nam rodzaj promieniowania we Wszechświecie, autentyczny ślad Wielkiego Wybuchu. Mapa jego temperatury na astronomicznym niebie – „niemowlęce zdjęcie Wszechświata” – wyjawia nam pierwotne niejednorodności przestrzennego rozkładu materii, z których z upływem czasu powstały wszechobecne galaktyki i całe zoo obiektów niebieskich. Precyzyjne pomiary promieniowania tła mają znaczenie fundamentalne dla badań procesów, jakie zachodziły dawno temu we Wszechświecie i pozwalają rozszyfrować jego historię.

Prof. Górski opracował rewolucyjną metodę formatowania liczbowego i analizy danych astronomicznych z przeglądów całego nieba – HEALPix (Hierarchi-

cal Equal Area isoLatitude Pixelization of the Sphere). Jest to wszechstronne, innowacyjne narzędzie do konstrukcji, wizualizacji i analizy map sygnałów astronomicznych rozłożonych na całej sferze niebieskiej, w szczególności mikrofalowej emisji promieniowania tła. Jest ono bardzo często wykorzystywane przez misje kosmiczne i projekty prowadzone z Ziemi. Z algorytmu tego korzystano w wielkoskalowych przeglądach całego nieba, takich jak WMAP, Planck, Fermi LAT, czy Gaia. Badacz stał się ekspertem w dziedzinie matematycznej konstrukcji i analizy map nieba. Artykuł opisujący ten algorytm był cytowany już 3,1 tys. razy, a oparta na nim biblioteka oprogramowania została pobrana przez ok. 60 tys. użytkowników na całym świecie.

W badaniach kosmicznego promieniowania tła prof. Krzysztof Górski uczestniczył od wczesnych lat 90. XX wieku. Pierwszą bardzo znaną misją NASA, w której brał udział, był COBE (Cosmic Background Explorer). Był to pierwszy sztuczny satelita zbudowany specjalnie do badań nad wczesnym Wszechświatem poprzez obserwacje mikrofalowego promieniowania tła. Prof. Górski zrealizował pionierską metodę analizy danych zgromadzonych przez to urządzenie. Tak zanalizowane, pomiary wykonane przez COBE umożliwiły przeprowadzenie odkrywczych badań nad pierwotną niejednorodnością Wszechświata.

Jednak największym naukowym przedsięwzięciem umożliwiającym badanie mikrofalowego promieniowania tła była misja Planck zrealizowana przez Europejską Agencję Kosmiczną, z udziałem NASA. Satelita został wystrzelony w 2009, a w roku 2013 zakończył misję po stworzeniu bezprecedensowo bogatego zbioru danych pomiarowych rozkładu mikrofalowej emisji na całym niebie w dziewięciu pasmach częstotliwości. W kolejnych latach dane te wraz z ich naukową interpretacją upubliczniono jako wyniki misji Planck. A te były olśniewające.

Na podstawie pomiarów dokonanych przez satelitę naukowcy zespołu Planck skonstruowali najbardziej precyzyjne mapy kosmicznego promieniowania tła dochodzącego do nas z epoki ok. 380 tys. lat po Wielkim Wybuchu. Dzięki temu naukowcy mogą prowadzić niezwykle dokładne badania 13,8 mld lat historii Wszechświata po Wielkim Wybuchu.

Jednym z kluczowych członków amerykańskiego zespołu misji Planck był właśnie prof. Górski, zaangażowany we wszystkie stadia analizy danych CMB zebranych przez satelitę. Kierował grupą odpowiedzialną za opracowywanie algorytmów stosowanych w procesie wyodrębniania wyników naukowych misji. Wniósł znaczący wkład w proces eliminacji tzw. za-

nieczyszczeń sygnałów pochodzących z wczesnego Wszechświata przez m.in. mikrofalową emisję naszej Galaktyki – co umożliwiło skonstruowanie bezprecedensowo dokładnego obrazu początkowej epoki w ewolucji Wszechświata. W ramach naukowego programu misji Planck kierował m.in. badaniami globalnej geometrii i topologii Wszechświata, precyzyjnej statystyki anizotropii (czyli zależności od kierunku obserwacji) kosmicznego promieniowania tła, oraz analizą anomalnych aspektów jego obserwowanego

rozkładu przestrzennego. Poprzez stałe członkostwo w Planck Editorial Board, prof. Górski wspomagał przygotowanie do publikacji wszystkich, ponad 160 recenzowanych artykułów zawierających podsumowanie kosmologicznych i astrofizycznych wyników misji Planck.

*dr inż. Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

ELEKTROWNIA JĄDROWA W OŚWIĘCIMIU?

Ostatnio wszystkie polskie media obiegała wiadomość, że Michał Sołowow, właściciel wielkiej firmy chemicznej SYNTHOS, będącej między innymi głównym w Europie producentem kauczuków syntetycznych, zamierza w swoim zakładzie w Oświęcimiu zbudować elektrownię jądrową. Ma to być bez-emisyjne źródło energii elektrycznej i ciepła dla samej fabryki, jak i dla okolicznych osiedli. Wybór padł na oferowaną przez amerykańsko-japońską firmę GEH (General Electric-Hitachi) ciepłownię jądrową średniej mocy, z reaktorem typu BWR (z wodą wrzącą) o mocy 300 MWe, a więc klasy SMR (ten skrót tłumaczy się jako Small Modular Reactors, czyli reaktory małe modularne, lub – co jest chyba bardziej stosowne w tym wypadku – Small and Medium Size Reactors, czyli reaktory małe i średnie). Wybrana technologia odpowiada najwyższym standardom bezpieczeństwa jądrowego (reaktory tzw. generacji 3+) i jest atrakcyjna z uwagi na cenę produkowanej energii i procedury eksploatacyjne. Odpowiednie – na razie wstępne – dokumenty zostały podpisane i partnerzy mają nadzieję na uruchomienie elektrowni już za ok. 10 lat.

Czy to realne? Chyba tak, choć łatwo nie będzie. Co prawda pewnym ułatwieniem jest fakt, że nowa elektrownia ma wykorzystać część infrastruktury obecnie pracujących elektrowni (konwencjonalnych). Ale przeszkody będą. Przede wszystkim będą to trudne i niesłychanie żmudne w polskich warunkach starania o uzyskanie stosownych zezwoleń i licencji. Polskie przepisy – te „jądrowe”, czyli wynikające z ustawy Prawo atomowe, jak i te bardziej ogólne – nazwijmy je środowiskowymi, zawierają sformułowania nie zawsze logiczne. Na przykład pożądane jest wprowadzanie najbardziej nowoczesnych rozwiązań, a jednocześnie sugeruje się budowę reaktorów mających za sobą dłuższy okres eksploatacji. Wymaga się przeprowadzenia przed rozpoczęciem inwestycji dwuletniego monitoringu meteorologicznego, jak gdyby w Polsce nie istniały szczegółowe i rzetelne dane w tym zakresie (nie mówiąc o tym, że obecnie

obserwowana dynamika zmian klimatu podważa zasadność użycia danych z dwuletnich obserwacji do prognoz dla całego 60-letniego okresu eksploatacji elektrowni). Analizując odpowiednie przepisy można odnieść wrażenie, że organy decyzyjne wolą raczej utracić planowaną inwestycję, jeśli może powodować obawy społeczeństwa, niż współpracować z inwestorem dla uzyskania najlepszych (najbezpieczniejszych) rozwiązań. Proponowane reaktory nie mają za sobą długoletniej eksploatacji, co może oznaczać, że Polscy inspektorzy jądrowi przed wydaniem stosownych zezwoleń (jeśli w ogóle dopuszczają możliwość pozytywnej decyzji) będą musieli dokładnie zbadać dokumentację elektrowni (projekt, parametry techniczne wszystkich elementów, planowany przebieg budowy, procedury eksploatacyjne ze wszystkimi możliwymi wariantami zdarzeń w czasie działania elektrowni itp.), a to może trwać nawet 10 lat! Z drugiej strony w reaktorach tych zastosowano technologię wziętą z najbardziej obecnie zaawansowanych reaktorów typu ESBWR (planowane SMRY to niejako ich młodsze i znacznie skromniejsze siostry), które uzyskały licencję niesłuchanie restrykcyjnego amerykańskiego dozoru jądrowego (NRC, Nuclear Regulatory Commission), a oferent technologii to również producent reaktorów ESBWR. Zresztą obydwaj członkowie kontrahenta (General Electric i Hitachi), należą do najbardziej doświadczonych światowych weteranów przemysłu jądrowego. Oznacza to, że można mieć nadzieję, iż polski dozór uprości swoje procedury bez obniżania kryteriów bezpieczeństwa. Ale pozostaje jeszcze konieczność uzyskania akceptacji lokalnej społeczności, co mimo małej stosunkowo skali inwestycji i wyśrubowanych parametrów bezpieczeństwa będzie wymagało trudnego, dobrze przygotowanego i rzetelnie przeprowadzonego procesu edukacji i informacji.

A co myślę o tym projekcie? Mam nadzieję, że zostanie zrealizowany, „trzymam kciuki”. Oświęcimski SYNTHOS uzyska stabilne – technologicznie i cenowo – zabezpieczenie energochłonnych procesów produkcyjnych, a mieszkańcy tego tak bardzo uprzemysłowionego regionu będą mogli oddychać powietrzem wolnym od smogu i innych zanieczyszczeń. Nie będzie to istotna rewolucja w krajowym systemie elek-

tro-energetycznym (moc nowej elektrowni to ok. 1% mocy całego systemu), ale powodzenie projektu będzie ważnym elementem eliminacji źródeł kopalnych z polskiej energetyki. Ważnym technicznie – bo pozwoli na praktyczne przetestowanie wszystkich procedur wymaganych w trakcie budowy i uruchomienia elektrowni jądrowej, ale również ważnym społecznie: inwestycja ta – mam nadzieję – ułatwi uzyskać akceptację społeczną dla czekającej Polskę budowy bloków jądrowych dużej mocy. Na razie (do ok. 2040 r.) mają to być elektrownie jądrowe o łącznej mocy 6 000 MWe, ale względy finansowe i konieczność poważnego potraktowania udziału Polski w obronie klimatu będą wymagały budowy dalszych bloków jądrowych i osiągnięcia w następnych dekadach istotnego udziału energetyki jądrowej w naszym bilansie energetycznym. Będą to prawdopodobnie bloki o mocy 1000-1500 MWe, ale istnieje też duże zainteresowanie elektrowniami jądrowymi z reaktorami typu SMR, a doświadczenie zdobyte w Oświęcimiu będzie tu niesłychanie cenne.

*prof. dr hab. Jerzy Niewodniczański,
Akademia Górniczo-Hutnicza,
Kraków*

Pauza nr 496, 9 stycznia 2020

O MOŻLIWOŚCI WSPOMAGANIA LECZENIA COVID-19 NISKIMI DAWKAMI PROMIENIOWANIA JONIZUJĄCEGO

Uzupełniając artykuł prof. Jacka Kubiaka (Polityka nr. 35 (3286)) znakomicie wyjaśniający rolę „burzy cytokinowej” w przebiegu ostrego zapalenia płuc powodowanego wirusem SARS-CoV-2, pragnę zwrócić uwagę na możliwość zapobiegania tej „burzy” przez napromienienie płuc pacjenta niewysoką łączną dawką ok. 100–500 mGy promieniowania jonizującego. Dla porównania – dawka od pojedynczego badania tomografii komputerowej TK to ok. 2–4 mGy. Odpowiada to w przybliżeniu rocznej dawce od naturalnego tła promieniowania w Polsce, którą otrzymuje każdy z nas. Ale np. mieszkańcy miejscowości Ramsar w Iranie mogą od tamtejszego tła naturalnego otrzymywać do 260 mGy rocznie – bez żadnej szkody dla ich zdrowia. W radioterapii nowotworowej guz napromieniany jest zwykle ponad sto razy wyższą łączną dawką 60 Gy, która rzeczywiście „zabija” komórki nowotworowe guza. O korzystnych wynikach leczenia

stanów reumatycznych i zapalnych za pomocą niskich dawek promieniowania jonizującego – LDR (LDR – Low Dose Radiotherapy) wiedziano już od dawna, stosując tę metodę z powodzeniem do lat sześćdziesiątych ubiegłego stulecia. Ostatnie doniesienia (jak dotąd o charakterze kazuistycznym) wskazują na skuteczne hamowanie przez LDR postępów w chorobach Alzheimera i Parkinsona. Potwierdzono też, że w modelach zwierzęcych z celowo wywołanym stanem zapalnym płuc, LDR skutecznie hamuje „burzę cytokinową”, oczekuje się więc podobnego działania LDR u pacjentów z ostrym zapaleniem płuc wywołanym wirusem SARS-CoV-2. Według ostatnich doniesień, LDR – w przeciwieństwie do środków farmakologicznych – nie powoduje transformacji wirusa do odmian bardziej opornych na jego leczenie. Na co więc czekamy? Jednym z powodów zwłoki jest wymóg uzyskania obiektywnego potwierdzenia skuteczności nowych metod leczenia, czyli tzw. zasada EBM – Evidence-Based Medicine – nawet jeśli skuteczność LDR znana jest już od dawna. Współczesna medycyna jest oparta na „twardych dowodach”, potwierdzonych wieloetapowymi (i najczęściej wieloletnimi) badaniami klinicznymi z udziałem dużych liczb pacjentów. Dotyczy to zarówno oceny skuteczności opracowywanych szczepionek, jak i LDR w leczeniu pandemii COVID-19. Obecnie badania kliniczne skuteczności LDR w zapobieganiu „burzy cytokinowej” prowadzone są już w ponad dziesięciu ośrodkach – w USA, Hiszpanii, Włoszech, Iranie i Indiach. A dlaczego nie w Polsce, choć udostępnione zostały polskim specjalistom szczegółowe protokoły takich badań klinicznych? Najbardziej istotną przeszkodą w zaakceptowaniu LDR jako metody leczenia jest ogólne przekonanie w świecie medycyny (i nie tylko), że każda, nawet najmniejsza dawka promieniowania jonizującego jest szkodliwa, bo powoduje nowotwory i zmiany genetyczne u człowieka, przy czym ryzyko to ma rosnąć proporcjonalnie do dawki, począwszy od dawki zerowej, czyli bez progu – jest to tzw. zasada LNT (Linear No Threshold). Wiary w paradygmat LNT od ponad 70 lat skutecznie podtrzymuje środowisko ochrony radiologicznej (np. ICRP – International Commission on Radiological Protection), systematycznie obniżając limity dawek, pomimo braku naukowego uzasadnienia dla takich decyzji. Przekonanie o wyłącznie szkodliwym działaniu promieniowania jonizującego jest tak głębokie, że ignoruje się wyniki wielu badań wskazujących na stymulujące efekty niskich dawek – a to przecież przeczy podstawowym zasadom nauki. Przykład? We wrześniu 2019 r., w ramach Zjazdu Polskiego Towarzystwa Badań Radiacyjnych, prof. Ludwik Dobrzyński z Narodowego Centrum Badań Jądrowych zorganizował międzynarodowe sympozjum z udziałem wybitnych specjalistów z USA i innych krajów, poświęcone pozytywnym skutkom niskich dawek promieniowania, w szczególności

LDR1). Pomimo uczestnictwa w Zjeździe wielu uznanych w Polsce lekarzy i specjalistów, bardzo niewielu z nich zdecydowało się uczestniczyć w obradach tego Sympozjum. A szkoda, gdyż prezentowane tam były opublikowane w poważnych czasopismach naukowych przykłady skutecznego leczenia licznych schorzeń za pomocą LDR (ale oczywiście nie związanych jeszcze z wirusem COVID-19).

Lekarze – nie tylko w Polsce – choć powszechnie korzystają z radiodiagnostyki (badań RTG., TK, czy medycyny nuklearnej), nadal głęboko wierzą w szkodliwość niskich dawek promieniowania jonizującego – zgodnie z paradygmatem LNT. Polska nie jest tu wyjątkiem – światowe gremia lekarskie i narodowe odpowiedzialne za walkę z pandemią także ignorują liczne apele i publikacje wskazujące na możliwość wykorzystania LDR do leczenia chorych na COVID-19, szczególnie w najgroźniejszych dla życia przypadkach. Za jeden z przykładów niech posłuży ostatnio opublikowana w amerykańskim czasopiśmie Dose Response praca Cuttlera i współpracowników¹⁾ – pod wymownym tytułem: Unethical not to Investigate Radiotherapy for COVID-19. Podano tam wykaz aktualnie prowadzonych badań klinicznych oraz omówiono wstępne

wyniki badania klinicznego LDR wykonanego w Emory University Hospital (USA) na małej próbie starszych pacjentów z COVID-19 wspomaganymi respiratorami. Zastosowanie LDR szybko i skutecznie uratowało im życie. Zachęcające są także wstępne wyniki pozostałych badań klinicznych. W bieżącej literaturze naukowej możliwość wspomagania leczenia pacjentów z COVID-19 niskimi dawkami promieniowania X jest coraz szerzej dyskutowana. Mam nadzieję, że środowisko medyczne będzie umiało jak najszybciej wyzwolić się z paradygmatu LNT i wdrożyć radioterapię niskimi dawkami promieniowania jonizującego dla ratowania życia pacjentów zarażonych wirusem SARS-CoV-2 z ostrym zapaleniem płuc – do czego przygotowany jest już teraz każdy ośrodek prowadzący radioterapię nowotworową. Może wtedy uda się zapobiec choćby części zgonów z powodu tego wirusa.

*prof. dr hab. Michael Waligórski,
Instytut Fizyki Jądrowej PAN,
Kraków*

Paauza nr 496, 9 stycznia 2020



INFORMACJA PRASOWA NA TEMAT KSIĄŻKI „Z KAMERA WŚRÓD UCZONYCH”

Przychodzi dziennikarz do uczonego i... zderzają się światy.

– Panie Profesorze, proszę możliwie najprościej opowiedzieć o swoich badaniach.

– Nie mogę. Koledzy mogliby pomyśleć, że się na tym nie znam. Muszę powiedzieć mądrze.

I tu zaczyna się wywód, którego nie sposób zrozumieć. Tak zderzają się światy.

Precyzja, skrupulatność i sprawdzanie każdej informacji zderzają się z poszukiwaniem ciekawostki lub sensacji. A czas liczony latami – z minutami lub sekundami wypowiedzi dla telewizji. Po prostu iskrzy. Ponad 44 lata pracuję na styku tych dwóch światów. Bywa ciężko lub zabawnie, ale zawsze ciekawie. Nigdy się nie nudziłem.

Dla nas, laików, świat nauki jest równie egzotyczny, jak świat plemion żyjących w dalekiej dżungli. Miałem wiele okazji, by tam zajrzeć. Widziałem pierwsze prace nad rozwiązaniami, które po latach trafiły do szpi-



¹ JM Cuttler, J Bevelacqua, SJM Mortazawi, Dose Response: An International Journal, July–Sept. 2020:1–2, DOI:10.1177/1559325820950104

tali, ale także do fabryk, sklepów i do naszych domów. Podziwiałem nowe, gigantyczne narzędzia badawcze i proste urządzenia, które umożliwiały dokonywanie wielkich odkryć.

Do tego świata trafiłem z... instytutu naukowego. Szczęśliwy traf sprawił, że zacząłem pracę w Polskim Radiu. Wtedy z zupełnie innej perspektywy zobaczyłem instytuty, laboratoria i samych naukowców. Coś, co jeszcze miesiące wcześniej wydawało się oczywiste, nagle jawiło się jako coś niezwykłego.

Ten egzotyczny świat pokazuję właśnie przez moje spotkania z uczonymi. Jedne były zabawne, a inne zaskakujące (dla mnie).

W publikacji „Z kamerą wśród uczonych” znalazło się również wiele fotografii, głównie kolorowych. Książka jest skierowana nie tylko do tych, którzy kiedyś oglądali moje programy: „Laboratorium”, „Kuchnia”, „Od kuchni”, „Nobel dla Polaka” i „Cyrk fizyków”. Może zainteresować naukowców z instytutów i uczelni, które odwiedzałem z kamerą i mikrofonem, a także osoby, których ciekawi telewizja od strony kulis.

„Z kamerą wśród uczonych” to także „książka, która buduje”. Ja napisałem ją w charakterze prezentu dla Fundacji Ronalda McDonalda. Na wydanie (projekt, druk) złożyli się darczyńcy, czyli osoby, które wsparły budowę Domu Ronalda McDonalda. Ten dom

jest przeznaczony dla rodzin dzieci leczonych długo w Szpitalu Pediatrycznym Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego.

Wiadomo, że jeśli poważnie choruje dziecko, choruje cała rodzina. Rodzice spędzają czas w szpitalu, gdzie nie ma warunków, by się wykąpać, przespać i odpocząć, by nabrać sił do dalszej opieki. A przecież nierzadko przyjechali do Warszawy z daleka. Nie mają pieniędzy na opłacenie hotelu.

Do Domu Ronalda McDonalda kieruje lekarz. Rodzic otrzymuje tam bezpłatnie luksusowe noclegi, możliwość wykąpania się, wyprania ubrania czy bielizny, wypoczynku, a nawet ugotowania czegoś dobrego dziecku.

Jeden taki Dom od 2015 r. z powodzeniem działa w Krakowie. W Warszawie w grudniu 2020 r. nastąpi otwarcie drugiego Domu Ronalda McDonalda. Ja, swoją książką i skromną pracą wolontariusza wspieram pomoc rodzinom chorych dzieci i zachęcam do tego wszystkich.

*Wiktor Niedzicki,
dziennikarz radiowy i telewizyjny, fizyk i muzyk,
Warszawa*

DOBRY CZAS DLA RODZIMYCH EKSPERTÓW

Baron de La Brède et de Montesquieu (wł. Charles Louis de Secondat), czyli – cieszący się od wieków w świecie zasłużoną sławą, chwałą i niekwestionowanym autorytetem z dziedziny filozofii prawa Monteskusz – w traktacie „O duchu praw” pisał „Prawa polityczne i cywilne każdego narodu [...] powinny być dostosowane do fizycznych warunków kraju, do klimatu zimnego, skwarne lub umiarkowanego, do właściwości gruntu, do położenia...”

W naszej coraz bardziej poplątanej, niczym „splot kwantowy” współczesnej rzeczywistości pełna mądrości zasada tworzenia prawa – biorącego pod uwagę uwarunkowania geograficzne, klimatyczne, demograficzne, ekonomiczne nabiera coraz większego praktycznego znaczenia. Wymaga od rządzących i rządzonych mądrości i rozważności oraz ogromnej odpowiedzialności przy podejmowaniu decyzji i ich realizacji.

Czyż jednak nie przeskalowaliśmy ról, jakie pełnią w życiu społecznym i gospodarczym politycy, decydenci gospodarczy, naukowcy i eksperci? Po co przywoływać i odwoływać się do filozofii prawa, polityki i propagandy, a nawet filozofii techniki i paradygmatu technologicznego. Wszyscy wszak wiemy, że nikt zdrowo myślący nie będzie chciał instalować wiatraków na terenach bezwietrznych, czy stawiać elektrowni wodnych tam, gdzie nie ma wody. Oczywiście oczywistość, że przywołamy tu zwrot, który upowszechnił się już w naszej zbiorowej komunikacji. Acz tu pytanie, dlaczego nie my inwestujemy w energię słoneczną na Saharze, byłoby wartościowym testem na inteligencję! Wszystko więc widzieć w okowach ideologii, włącznie z technologią? Toż to przesada. Tymczasem inercyjność naszego oglądu świata jest zadziwiająca. Zarówno, co do siły oddziaływania jak i także czasu trwania. Ktoś światły już dawno zauważył, że człowiek łatwo przyjmie określone poglądy – pod jednym tylko warunkiem – o ile wcześniej nie miał żadnych. Ale już bez ironii. Warto przyjrzeć się klasycznemu przykładowi, jakim jest rola eksploatacji naszych rodzimych pokładów węgla kamiennego

nego i brunatnego w narodowej gospodarce. Chciałoby się też rzec i w kulturze. I to szeroko rozumianej kulturze, także w sensie twórczości artystycznej oraz – co bardzo ważne – kulturze pracy (ethos pracy górnika – stanowiący swoisty wzór do naśladowania – w dziejach Polski).

Po 1945 r. mieliśmy kraj zniszczony wojenną pożogą. Wydawało się, że skoro węgiel posiadamy strategicznie na niego i bezdyskusyjnie stawiamy.

Żadna alternatywa w grę nie wchodzi. I całkowicie takie zdroworozsądkowe właśnie spojrzenie wydawało się gospodarczym trafieniem w przysłowiową dziesiątkę. Okazało się jednak w XXI w. optyką dla krótkowidzów. Przez wiele lat nikt nie chciał zauważyć w Polsce, że opieranie gospodarki wyłącznie o węgiel monokulturę jest rozwiązaniem, które na polu ekonomicznym, technicznym, ekologicznym – okazało się – fatalnym błędem. Generuje trudności. I będzie przysparzać nam coraz większych kłopotów. A ich rozmiar jest wprost proporcjonalny do węglowego urobku, że o rosnących hałdach szerzej nie wspomnimy. Czy dyskredytowanie pozycji węgla na krajowej gospodarczej scenie nie jest modelowym przykładem niepotrzebnego zacierzenia? Nie trudno nie zauważyć, że współczesne dyskusje na mniej lub ważniejsze tematy przebiegają w ostrej kontrze. Jeśli ktoś chce zwrócić na siebie – choć chwilę – uwagę opinii publicznej, pragnie zdyskredytować inne – niż jego własne – poglądy. Węgiel przez długie lata był niekwestionowaną potęgą.

W Polsce II połowy XX w. miał stanowić o sile naszej gospodarki. Był przez dziesięciolecia naszym rodzimym znakiem rozpoznawczym na światowych rynkach. Polskim złotem. Jego pozycja była na tyle silna, iż uniemożliwiła nam przygotowywanie elastycznej strategii gospodarczej, w której znajdują się i inne technologie energetyczne. Od tego czasu minęło wiele dekad. Teraz nasz węgiel nie można nawet nazwać tombakiem polskiej gospodarki. (Pominąwszy, iż jesteśmy liczącym się eksporterem w świecie miedzi, srebra, a nawet złota). Krajowy węgiel kamienny jest bardzo drogi i nie zawsze wysokiej jakości. A bardzo tani mają i w Rosji, na Ukrainie, a nawet w dalekiej Australii. Spalając w elektrowniach polskich z rodzimych kopalń niedysiejsze nasze złoto teraz dopłacimy do niego wszyscy. Bez wyjątku. To taki nieformalny, ale realny podatek. Haracz płacony przez obywateli za wieloletnią ideologizację polskiego węgla. (Co nie ma nic wspólnego, z tym że ciężko pracującym górnikom – analogicznie, jak i przedstawicielom innych profesji z nauczycielami i pracownikami służby zdrowia włącznie – należy się za pracę godziwa zapłata). I przy całym szacunku dla górniczego tru-

du i pięknej polskiej górniczej tradycji trzeba otwarcie powiedzieć, że korzystanie z bloków opalanych węglem kamiennym, czy brunatnym jest przejawem anachronizmu przemysłowego. Ten sposób produkcji energii elektrycznej jest w obecnym kształcie technologią schyłkową. Co nie oznacza, że w przypadku opracowania i wdrożenia innowacyjnej niskoemisyjnej węglowej technologii, spełniającej normy ochrony środowiska nie znajdzie się dla niej miejsca w energetycznym miksie.

Przez bardzo długi czas korzystaliśmy bez żadnych ograniczeń z dóbr Matki-Ziemi. W myśl zasady, że to my mamy do tego prawo, bo dobra ziemskie należą do tych, którzy chcą i potrafią je zagospodarować i spożytkować na swoje (ustalone przez siebie) cele. Pisze z rozmysłem o celach, a nie ludzkich potrzebach. Uzyskanie takiego stopnia samoświadomości, aby móc odpowiedzieć, iż „moim bogactwem jest umiejętność ograniczenia własnych potrzeb” dopiero jest przed nami. Zagadnienia tzw. świadomości klimatycznej powoli zaczyna dopierać nowa dyscyplina wiedzy. Jest nią socjologia środowiska (sociology of the environment), a w USA podejmowane są owe zagadnienia w ramach socjologii środowiskowej (ang. environmental sociology).

W tym przypadku nawet zwykła ludzka logika postępowania powinna nam podpowiadać optymalne podejście. Wykorzystanie zasobów naturalnych nie powinno przekraczać stopnia możliwości ich regeneracji. Proste równie. A sprawia najwięcej trudności. Zasoby przyrody są mocno limitowane. Pusty pieniądz elektronicznie generowany może długo funkcjonować w bankowym obiegu. I też nie wiecznie. Ale już wirtualnie nawet w 3D nie da się stworzyć przyrodniczych zasobów świata.

Pytanie zasadnicze brzmi: czy chcemy się przyczyniać do rozwoju cywilizacji mierzonego w kategoriach ekonomicznych, czy ekologicznych? Tylko nie chcemy przy tym brać pod uwagę, że obsesyjne stanie na straży swoich opinii, nic dobrego dla podniesienia poziomu dobrostanu społeczeństw nie wróży.

Okopanie się na swoich pozycjach też nie prowadzi do wzbogacenia wiedzy.

Bez ryzyka popełnienia błędu możemy – a priori – założyć, że w krajach, w których gospodarka rozwija się pomyślnie, proces taki następuje dzięki efektywnie wykorzystywanej wiedzy eksperckiej. Natomiast tam, gdzie zamiast holistycznego i zarazem pragmatycznego stosunku do wiedzy, nauki i programów badawczych następuje ich ideologizacja – wcześniej niż później – tryby gospodarki ulegają zatarciu. Po-

wyższe prawidłowości występują u naszych bliższych, dalszych, czy bardzo dalekich sąsiadów. I nie inaczej jest u nas, po obu stronach Wisły.

Nie pozostając na gruncie uogólnień, przypomnijmy nieodległy czas, w którym przeciwstawiano – między innymi – pozyskiwanie energii wiatrowej – energetyce jądrowej.

Natomiast podczas seminarium, które odbyło się 9 listopada br. w ramach konferencji online EkoStrefa, postawiono kapitalne pytanie: Czy bez energetyki jądrowej można uratować planetę? I taki też tytuł nosiła cała debata! Już samo sformułowanie pytania – wokół którego miała się zogniskować dyskusja – świadczy, że pozycja energetyki atomowej jest silna.

Skoro musimy się zastanowić, czy rezygnacja z niej zaważyć ma w zasadniczy sposób na dalszych losach planety Ziemia! Nawiasem kreślone przez ekologów – w kontekście zmian klimatycznych – scenariusze przyszłości Ziemi nie napawają zbytnim optymizmem. Do tej pory wykazaliśmy się tylko nadmierną ofensywnością w eksploatacji otaczającej nas przyrody. Zapominamy, że jesteśmy w niej zaledwie niewielką, aby nie rzec mikroskopijną cząstką świata, a nie jego epicentrum. Antropocentryzm w uproszczonym ujęciu, iż człowiek jest miarą wszechrzeczy, nie służy już dobrze i światu i samemu człowiekowi. Warto zmienić wektor kierunku dotyczący polityki ekologicznej.

Nie musimy widzieć wszystkiego w kontrze. To nader ułatwia dialog. A więc? Nie dla kontry. Tak – dla ...tak! Spojrzenie na świat oczyma św. Franciszka z Asyżu i wsłuchanie się w ujęcie problematyki ekologicznej, jak ją obecnie widzi papież Franciszek. Wzięcie pod uwagę konieczności systematycznej rezygnacji z technologicznych form antropocentryzmu. Ale jednocześnie musimy stawiać na kreatywność, innowacyjność i nie tracić chęci ciągłego przekraczania granic wyobraźni.

Zrównoważony rozwój w najbliższej perspektywie dwóch – trzech dziesięcioleci jest możliwy do osiągnięcia. I zależy to od nas samych. Od naszej hierarchii wartości. My ludzie musimy sobie odpowiedzieć na pytanie: czy chcemy mieć zyski krótko – czy długoterminowe. I dotyczy to właśnie także – a może przede wszystkim – naszego miejsca we Wszechświecie.

Zejdźmy jednak na koniec na nasze polskie podwórko. Na szczęście wspomniana wcześniej w niniejszym tekście dyskusja na temat energetyki jądrowej napawa nutką optymizmu. Nikt z zabierających głos podczas debaty nie próbował udowodniać, że bez energetyki jądrowej świat sobie zupełnie nie poradzi.

Podobnie, jak nie znaleźli się specjaliści twierdzący, że energetyka jądrowa w Polsce to pomysł chybiony, a może wręcz całkowicie błędny. Okazuje się, że nie tylko trzeba, ale i w praktyce można prowadzić dialog na podstawie argumentów merytorycznych, a nie ideologicznych.

Kształtując miks energetyczny w naszym kraju, gdzie nadal pierwsze skrzypce grają elektrownie opalane węglem kamiennym, a drugie skrzypce, elektrownie na węgiel brunatny, znajdzie się poczesne miejsce dla każdej nowoczesnej (czytaj: bezemisyjnej) technologii generowania prądu elektrycznego. Inaczej uniwersalny program pod nazwą „Zielony Łód” nie ma w Polsce żadnych realnych szans na urzeczywistnienie. A sam odbiorca energii elektrycznej może się spodziewać tylko jednego – droższego prądu elektrycznego.

Znamienne słowa padły na sygnalizowanym wyżej webinarium ze strony pana Tomasza Nowackiego, dyrektora Departamentu Energii Jądrowej Ministerstwa Klimatu i Środowiska: „Państwo musi brać odpowiedzialność za całe społeczeństwo i przygotowywać rozwiązania energetyczne nie tylko na kolejne lata, ale na całe dekady. Energetyka jądrowa jest częścią tego rozwiązania”.

W kontekście tego, co przyniósł dla polskiej energetyki jądrowej październik Anno Domini 2020 – o czym informuje w bieżącym zeszycie „Postępów Techniki Jądrowej” redaktor naczelny, dr Stanisław Latek – można skonstatować, że nadszedł najwyższy czas na zintensyfikowanie pracy rodzimych ekspertów w tej dziedzinie. Moment znamieny i wyjątkowo ważny.

Patrząc zaś na problematykę energetyki historycznie, ale z czysto osobistej perspektywy mógłbym tylko przypomnieć pewne zdarzenie. Na konferencji prasowej w 2007 r. w ministerstwie gospodarki pan Piotr Naimski, zapytany przeze mnie o przyszłe losy krajowej energetyki jądrowej odpowiedział: Bardzo dobre pytanie, ale już nie dla naszego rządu, gdyż było to faktycznie – o czym nas wcześniej powiadomiono – pożegnalne spotkanie z dziennikarzami. A trzynastcie lat później tenże sam minister podpisuje stosowane międzynarodowe umowy w kwestii energetyki jądrowej. Szczęśliwa trzynastka?

*Marek Bielski,
Przegląd Techniczny,
Warszawa*

DUŻE CZY MAŁE – POLEMIKA Z DR. JÓZEFEM SOBOLEWSKIM

W dwóch pierwszych numerach PTJ w bieżącym roku zamieszczone zostały artykuły dr. Józefa Sobolewskiego pt. „PPEJ: duże reaktory energetyczne czy małe reaktory modułowe?” (nr 1/2020) i „Nielektryczne zastosowania energii jądrowej – kogeneracja i wodór” (nr 2/2020) dotyczące przyszłości energetyki jądrowej w Polsce, które określone zostały słowami, „są to prywatne opinie i nie reprezentują stanowiska żadnej instytucji”. Energetyka jądrowa w Polsce nie jest sprawą prywatną i powinna kształtować się w ogólnej dyskusji, więc pozwalam sobie przedstawić swoją polemiczną opinię jako obywatela i podatnika.

Autor stwierdza, że mamy wybierać między reaktorami o dużej mocy, ok. 1500 MWe, czyli na przykład reaktorem EPR lub AP1000, a reaktorami małej mocy, od 5 do 200 MWe, ale ta alternatywa wymaga uzasadnienia i doprecyzowania. Decyzja o wyborze dużego reaktora podjęta została ponad 10 lat temu, a obecnie sytuacja w technologii jądrowej wygląda zupełnie inaczej. Zwrot dostawców ku reaktorom o małej mocy wynika z rosnących kosztów inwestycyjnych i przedłużającego się czasu budowy poszczególnych obiektów. Opowiadając się za małymi reaktorami, mam na myśli reaktory o mocy 200-300 MWe oparte na sprawdzonych konstrukcjach. Mniejsze moce nie są interesujące w naszych warunkach, kiedy mamy na myśli nowe lokalizacje na północy Polski i zastępowanie wycofywanych z eksploatacji bloków konwencjonalnych.

Do tych reaktorów należy wymieniony przez dr. J. Sobolewskiego reaktor wodny wrzący BWRX-300 projektowany przez General Electric Hitachi i oparty na pojedynczym obiegu wodno-parowym. Stanowi on uproszczoną wersję posiadającego licencję amerykańskiego urzędu dozoru jądrowego (US NRC) reaktora ESBWR o zmniejszonej mocy z 1520 do 300 MWe wykorzystującego naturalny (grawitacyjny) obieg chłodzenia rdzenia. Rozwiązane to zostało sprawdzone w dwóch elektrowniach. W EJ Humboldt Bay (USA) z blokiem o mocy 35 MWe pracującym przez 13 lat i w EJ Dodewaard (Holandia) z blokiem o mocy 60 MWe pracującym przez 28 lat, w obu elektrowniach bez problemów technicznych. Reaktorem tym zainteresowany jest w Polsce koncern chemiczny Synthos z Oświęcimią oraz takie kraje jak Estonia, Czechy, Kanada.

Drugim reaktorem jest konstrukcja zintegrowanego reaktora wodnego ciśnieniowego SMR-160 proponowana przez Holtec Int. o mocy 160 MWe. W tej konstrukcji cały obieg pierwotny z wytwornicami pary umieszczony jest w jednym zbiorniku i na zewnątrz dostarczana jest para na turbinę. Jest to nowatorskie rozwiązanie zwiększające bezpieczeństwo poprzez wyeliminowanie zewnętrznego obiegu pierwotnego,

który stosowany jest w obecnie budowanych dużych reaktorach PWR. Reaktorem tym zainteresowane są Indie i Ukraina, gdzie sugerowano jego budowę w EJ Równie.

Oba reaktory są przedmiotem weryfikacji przez CNSC (kanadyjski urząd dozoru jądrowego), a ten pierwszy również przez US NRC. Zgodnie z zapowiedziami ich producentów powinny być uruchomione w USA w latach 2028-2030.

W drugim artykule dr J. Sobolewski przedstawia konstrukcję wysokotemperaturowego reaktora chłodzonego gazem, który przede wszystkim może znaleźć zastosowanie w przemyśle chemicznym jak źródło ciepła technologicznego, a w przyszłości do produkcji wodoru. Jest to obiecująca technologia, przede wszystkim ze względu na bezpieczeństwo stosowanego paliwa odpornego na bardzo wysokie temperatury. Ale problem jest w tym, że zbudowane dotychczas dwa takie reaktory w wersji przemysłowej: Fort St. Vrain (USA) pracował przez 10 lat i THTR (Niemcy) pracował 2 lata i oba zostały wyłączone ze względów na problemy techniczne. Obecnie reaktor wysokotemperaturowy HTR-PM budowany jest w Chinach z planowanym uruchomieniem w 2021 r. i dopiero po uzyskaniu pozytywnych doświadczeń eksploatacyjnych będzie można stwierdzić, czy konstrukcja nadaje się do powielania. Reaktorem tym zainteresowana jest Polska i dla oceny jego przydatności powołany został przez ówczesnego ministra energii zespół specjalistów. Zespół ten uznał w 2016 r. technologię tego reaktora za wartą rozwijania, ale od tego czasu prowadzone są tylko prace teoretyczne, w ramach projektu Gospostrateg-HTR. Jeśli chcemy się liczyć w konkurencji światowej, to prace należy znacznie przyspieszyć, a w tym uruchomienie reaktora badawczego w NCBJ w Świerku. Niestety termin przemysłowego zastosowania tych reaktorów jest dosyć odległy i jak stwierdzono na konferencji w NCBJ czerwcem br., są to lata 2035-2040.

Perspektywa uruchomienia pierwszego w Polsce pierwszego dużego reaktora w 2033 r., tj. za 13 lat jest bardzo odległa i sposoby pokrycia wysokich kosztów jego budowy pozostają nierozstrzygnięte od wielu lat, wobec tego nie rezygnujemy z koncepcji oparcia naszej energetyki o wskazane wyżej reaktory średniej mocy. Argumentami za takim rozwianiem jest to, że może to być zrealizowane: znacznie wcześniej, taniej w perspektywie niższego kredytu zaciąganego w momencie rozpoczynania kolejnych inwestycji, przy większym udziale rodzimego przemysłu, znacznie jaśniejszych perspektywach eksportu, a poza tym mniejsze reaktory łatwiej wpisują się w nasz system energetyczny.

dr inż. Andrzej Mikulski,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, Warszawa

UWADZE ZAINTERESOWANYCH ENERGIĄ ELEKTRYCZNĄ

Po publikacji przedstawionej do konsultacji publicznych zaktualizowanej wersji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) w sierpniu 2020 r. zauważyłem pewne ożywienie wokół spraw szeroko rozumianej energetyki. Mnie interesuje szczególnie sytuacja w elektroenergetyce. Jesteśmy bardzo mocno uzależnieni od energii elektrycznej: wszelkiego rodzaju produkcja, życie w aglomeracjach, życie w mieszkaniach, łączność itd. itp. To wszystko bez energii elektrycznej nie istnieje. A tu jeszcze zapowiedź masowego przedstawiania transportu, głównie indywidualnego, na napęd elektryczny. Hulajnogi i skutery już są, a przed nami milion samochodów z napędem elektrycznym. Doświadczamy pandemię, a w konsekwencji praca online, nauka online – a te, bez energii elektrycznej, nie istnieją!

Pierwszym dla mnie przejawem ożywienia, o którym napisałem w pierwszym zadaniu, było opublikowanie parę tygodni temu i poddanie do dyskusji Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ A.D.2020). Jest kilka powodów, dla których od tego dokumentu rozpocząłem, ale podstawowy powód to pytanie: czy polska elektroenergetyka poradzi sobie bez polskiej energetyki jądrowej, czy też nie poradzi? To dla mnie kluczowe pytanie, bo obok troski o „elektroenergetyczny komfort”, z racji swego wykształcenia i niektórych okresów późniejszej pracy zawodowej, dosyć dobrze wiem, co to znaczy energetyka jądrowa. Wiem, że jest intelektualnie atrakcyjna, że energetycznie atrakcyjna, że dużo może i jak każde urządzenie, może stanowić zagrożenie. Zagrożenia ze strony energetyki jądrowej mogą być poważne, ale są dobrze rozpoznane. A dzięki kompetentnemu rozpoznaniu i stosowaniu odpowiednich rozwiązań technicznych, zminimalizowane. Nie wyeliminowane, ale skutecznie zminimalizowane. I to właśnie minimalizacja zagrożenia stanowi o tym, że energetyka jądrowa jest kosztowna. No, ale jeżeli nie ma innego wyjścia, jeżeli „niejądrowe” technologie wytwarzania polskiej energii elektrycznej są niewystarczające, to polska energetyka jądrowa staje się bezdyskusyjną koniecznością! Innymi słowy: „płać i płać”.

Niestety, dokument PPEJ A.D.2020 wielce mnie rozczarował! Nie znalazłem w nim należytego opisanie oczekiwań polskiej elektroenergetyki od polskiej energetyki jądrowej. Trudno bowiem za „należyte” uznać te „6 – 9 GW”. Wolałbym, by zamiast przekonywania mnie, że energetyka jądrowa nie emituje dwutlenku węgla, dało się znaleźć wymagania polskiej sieci elektroenergetycznej co do struktury (wielkości

jednostek), dyspozycyjności i elastyczności tych czy to 6, czy 9 GW polskiej energetyki jądrowej. Zastanawia również tak duże niezdecydowanie oczekiwań, bo aż 3 GW! Co też ważne, brakuje mi wymagania co do ilości oczekiwanej energii „jądrowej”, tj. GWh w skali roku. Trochę więcej i nieco inaczej, napisałem na ten temat w liście adresowanym do Ministerstwa Klimatu – autora PPEJ A.D.2020.

Za drugi przejaw ożywienia uznaję zasygnalizowaną (a może już zrealizowaną) aktualizację Strategii Energetycznej Polski do roku 2040. Chyba się nie mylę, ale zauważyłem, że tegoroczna aktualizacja Strategii, w porównaniu do poprzedniej aktualizacji, przyjmuje pogłębienie redukcji wytwarzania energii elektrycznej z węgla i, chyba szerzej, ze spalania. Jeżeli tak, to bardzo dobrze, ale co w to miejsce? Czy my w ogóle dysponujemy wiarygodnym rozpoznaniem dostępnych GWh: ze spalania, z wiatru, z fotowoltaiki, z wody, a importu itd.? I czy te dostępne GWh wystarczają dla pokrycia naszych potrzeb?

Natknąłem się również na wystąpienie któregoś z ministrów naszego rządu na jakimś panelu World Nuclear Association, na którym mówił m.in. o tym, że „energetyka jądrowa jest szansą dla polskiego przemysłu”. Tu znowu brakuje mi konkretnej wizji. Który to przemysł: maszynowy, elektryczny, informatyczny, czy może mniej wyrafinowany, ma prawo w energetyce jądrowej upatrywać swojej szansy?

Chciałbym, by mój ogląd sprawy, tj. przyszłości zaopatrzenia nas w energię elektryczną, okazał się wysoce amatorski i niemający niczego wspólnego z rzeczywistością. Proszę mnie wyprowadzić z błędu, pokazać i uspokoić, że nowelizowane i aktualizowane programy czy strategie, albo wystąpienia, to nie jest żadna gra pozorów, że nie jest to aktualizacja dla aktualizacji, a nowelizacja dla nowelizacji, a treści tych aktualizacji i nowelizacji nie są jedynie odpowiedziami na zalecenia i wymagania, że są wiążącymi decyzjami do realizacji.

Dokumenty, nowelizacje i wystąpienia są potrzebne, ale – parafrazując niegdysiejszą wypowiedź pewnego profesora odnośnie relacji między wątpliwą jakością paliwa i ilością ciepła – same dokumenty, nowelizacje i wystąpienia – prądu nie dadzą!

*Andrzej Nawrocki,
Wrocław, 14.09.2020.*



DR RYSZARD GOKIELI
(1947 – 2011)
– WSPOMNIENIE

Prawie 10 lat temu zmarł fizyk doświadczalny wielkich energii dr Ryszard Gokieli, wieloletni pracownik Instytutu Badań Jądrowych i Instytutu Problemów Jądrowych na Hożej 69. Uczestniczył w organizacji Narodowego Centrum Badań Jądrowych, z którym zamierzał współpracować po przejściu na emeryturę. Przez wiele lat pracował w Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych (CERN).

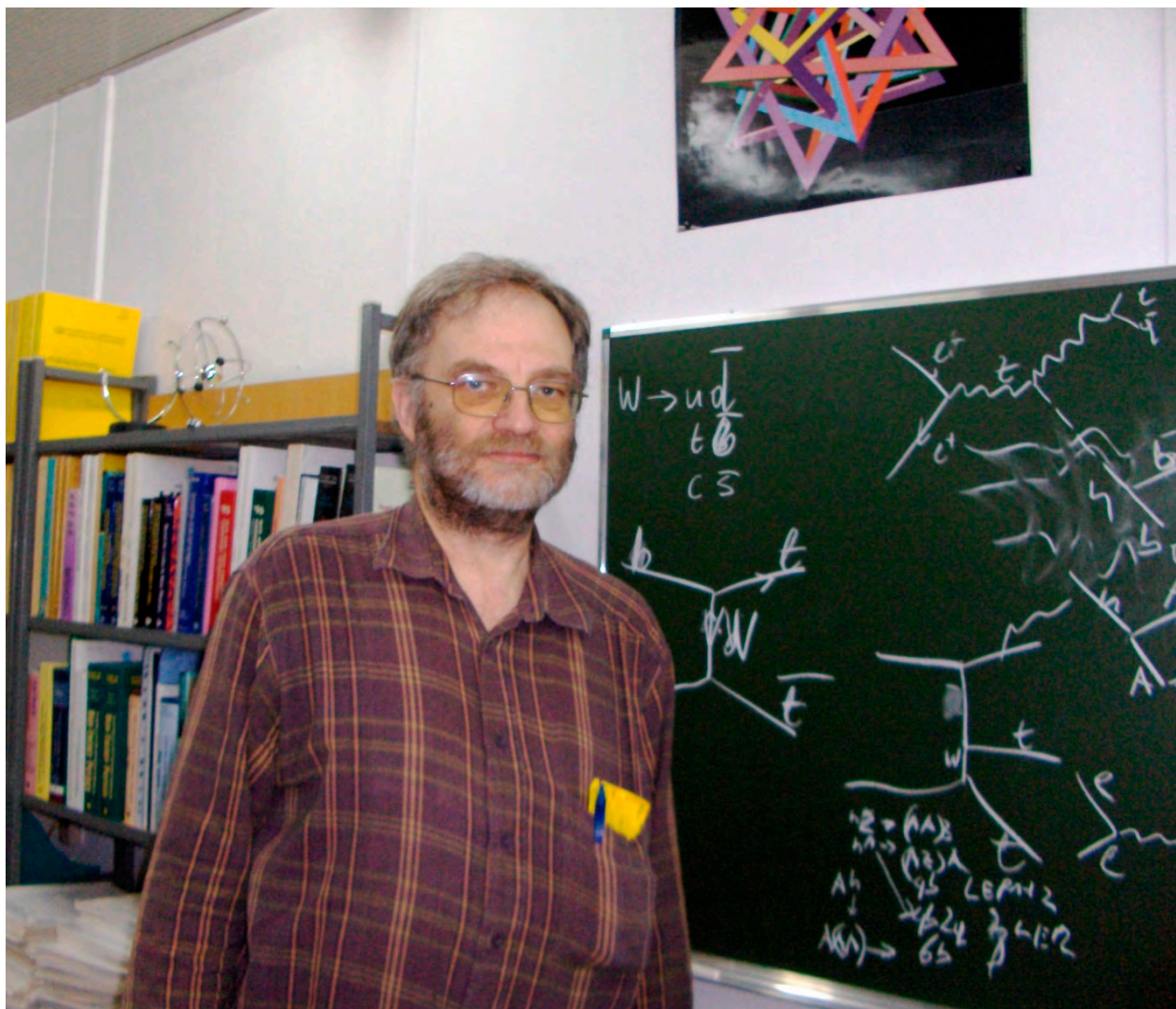
Ryszard Gokieli, wuj autora tego wspomnienia, był absolwentem VI L.O. im. Tadeusza Reytana, jednej z najlepszych szkół w Warszawie. Ukończył studia magisterskie na wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, specjalizując się w mezonach – π (pi) i w komorach pęcherzykowych. Tytuł jego pracy dyplomowej brzmiał:

„Przewidywania modelu wymiany jednego pionu w zastosowaniu do reakcji $\pi^+ + p \rightarrow \rho^0 + \Delta^{++}$ ».

W 1975 r. Ryszard Gokieli obronił pracę doktorską pt. „Badanie produkcji mezonów π^0 w oddziaływaniach hadronów wysokiej energii”. Mezony π^0 odgrywają rolę w silnych oddziaływaniach cząstek elementarnych wysokiej energii. Obliczenia przeprowadzał na superkomputerze CDC CYBER 72, który do Świerku sprowadził prof. Andrzej Targowski, (co wymagało uchylecia amerykańskiego embarga).

Zgodnie z tym, co z obrony pracy doktorskiej pamięta autor tego artykułu, udowodniła ona, że przewidywania reakcji przepowiedziane przez pewnych fizyków doświadczalnych były bardziej uniwersalne, niż sądzono pierwotnie.

Ryszard Gokieli pracował przy eksperymentach w Dubnej, ZSRR, a następnie przez wiele lat w Szwaj-



Fot.1. Dr Ryszard Gokieli (fot. z archiwum rodzinnego p. Kulczyńskich)

carii. CERN (Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire) to europejskie centrum badań jądrowych mieszczące się pod Genewą w okolicach granicy szwajcarsko-francuskiej. Oficjalna nazwa centrum w języku angielskim brzmi obecnie European Organization for Nuclear Research. Członkami CERN jest większość państw europejskich. Od 1991 r. jest nim także Polska finansująca 2,80% budżetu tej organizacji. Polacy uczestniczyli jednak w badaniach jądrowych w Genewie dużo wcześniej. Z byłych państw RWPG członkami CERN-u są jeszcze Czechy, Słowacja, Węgry, Bułgaria, Rumunia i Serbia. W latach 70. dr Ryszard Gokieli pracował przy pierwszym wielkim akceleratorze z wiązkami przeciwbieżnymi Intersecting Storage Rings (ISR), w przedsięwzięciu SFM (Split Field Magnet experiment). Przeprowadzając ten eksperyment naukowcy CERN-u uzyskali dane, które potwierdziły realność hipotetycznych jeszcze wówczas kwarków. W latach 80. dr Ryszard Gokieli pracował przy zderzaczach elektronów i pozytonów LEP, a w następnej dekadzie był odpowiedzialny za oprogramowanie eksperymentu DELPHI na stanowisku 'Leader of the DELPHI Central Computing Project'. Był członkiem zespołu eksperymentu CMS (Compact Muon Solenoid) związanego z wielkim zderzaczem hadronów (Large Hadron Collider – LHC). Muony to występujące w promieniowaniu kosmicznym cząstki elementarne zbliżone do elektronów i pozytonów (leptony), ale o masie 200 razy większej. W uruchomionym w 2008 r. superakceleratorze LHC naukowcy przewidują powtórzenie warunków, jakie istniały bezpośrednio po wielkim wybuchu (Big Bang), kiedy pojawił się czas, cząstki elementarne, temperatura, a w dalszej kolejności atomy, galaktyki, gwiazdy i planety. Otrzymanie danych z eksperymentu wymaga superszybkiej elektroniki i superpotężnych komputerów w laboratoriach CERN-u. Ich analiza potrzebuje jednak możliwości obliczeniowych prawie całego świata. Istnieje sieć komputerów ulokowanych w wielu państwach, także w Polsce. Każdego roku eksperymenty Wielkiego Zderzenia generują 15 petabajtów danych, czyli 15 mln gigabajtów. Dr Ryszard Gokieli był wiceszefem wielkiego i ambitnego projektu CIŚ – Centrum Informatyczne (komputerowe) Świerk, któremu poświęcał mnóstwo czasu i entuzjazmu. Niestety nie dokończył już tego przedsięwzięcia.

Wspomnienia o Ryszardzie Gokielim nie można zredukować do osiągnięć naukowych. Wuj, starszy ode mnie zaledwie o sześć lat, był dobrym, ciepłym człowiekiem, kochającym świat i ludzi. Dużo podróżował; był w Brazylii, w ZSRR (w tym w Gruzji, gdzie w 1973 r. odnalazł swoją rodzinę). Odwiedzał USA i większość krajów europejskich. Pomimo wielkich talentów naukowych i językowych nikogo nie traktował z góry. Był praktykującym katolikiem, a przez wiele lat ministrem w kaplicy św. Andrzeja Boboli.

Na początku lat siedemdziesiątych pomógł mi również zgłębić arkana równań trygonometrycznych. Miało to wpływ nie tylko na oceny u Reytana, ale także na zdobycie względów mojej obecnej żony. Stosując technikę Rysia, udało mi się skutecznie pomóc jej w opanowaniu tej gałęzi matematyki. Chociaż dr Ryszard Gokieli nie miał nic wspólnego z techniką reaktorową, bardzo interesowały Go informacje o awarii elektrowni Fukushima. Wiosną 2011 r., jako pracownik elektrowni atomowej Darlington, otrzymywałem szereg e-maili i prezentacji. Rysio potrafił czytać e-maile na temat EJ Fukushima Daiichi o trzeciej rano czasu warszawskiego. Niestety niedane nam już było się zobaczyć.

Trudno powiedzieć, czy Jego śmierć nastąpiła 20 lipca 2011 r., czy też w maju, gdy uległ zawałowi, który wstrzymał akcję serca. Popularny angielski muzyk Sting (Gordon Matthew Thomas Sumner) w jednym swoich przebojów śpiewa „Lest we forget how fragile we are” (żebyśmy nie zapomnieli, jak kruchymi istotami jesteśmy). Możemy żyć jedynie w bardzo wąskim przedziale parametrów fizycznych, takich jak zawartość tlenu niezbędna do funkcjonowania mózgu. Umysł ludzki wznosi się czasem na wysokości galaktyk, ale ściąga nas na ziemię nieubłagana biologia.

Ryszard Gokieli trenował w młodości Judo, a przez całe życie był zakochany w sporcie. Chociaż stan zdrowia ograniczał jego aktywność fizyczną, był zapalonym kibicem szczególnie piłki nożnej i tenisa, który przed wojną uprawiał Jego ojciec inż. Witold Gokieli, dyrektor techniczny i pierwszy wicedyrektor fabryki amunicji w Kraśniku [FA Nr 2 w Dąbrowie-Bór], podczas okupacji był Szefem Produkcji Konspiracyjnej (Broni) i członkiem Komendy Głównej AK. Jego pseudonim konspiracyjny brzmiał „Ryszard” i tak właśnie ochrzcił syna. Matka Ryszarda, Eugenia z Okońskich była także żołnierzem AK i wraz z mężem uczestniczyła w Powstaniu Warszawskim. Wszyscy troje są pochowani w kwaterze AK na Powązkach Wojskowych. Kiedyś nad grobem wznosił się brzoźowy krzyż.

*Dariusz Witold Kulczyński,
P. Eng.
(siostrzeniec d-ra R. Gokielego),
Kanada*

NUTECH 2020

MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NA TEMAT ROZWOJU I ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII JĄDROWYCH



Prof. Andrzej Chmielewski dyr. Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej otwiera konferencję NUTECH 2020



Prezes Państwowej Agencji Atomistyki dr Łukasz Młynarkiewicz - Patron honorowy konferencji



Prof. Cogueret Xavier University of Reims Champagne-Ardenne, Francja



Dr. Thorsten Jentsch Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf, Niemcy



Dr Colbani Juliette Institute for Radiological Protection and Nuclear Safety -IRSN, Francja



Komunikat wygłasza Suresh Pillai Texas A&M University, USA



Prof. Piotr Ulański MITR PŁ otwiera referat inauguracyjny



Jerzy Majcher ekspert od energetyki jądrowej członek PTN



Bumsoo Han International Atomic Energy Agency, Austria

NAGRODY NOBLA



Awers medalu Nagrody Nobla –profil Alfreda Nobla wraz z datą jego urodzenia i śmierci zapisaną cyframi rzymskimi



Okolicznościowy rysunek przedstawiający amerykańską poetkę Louise Glück, laureatkę tegorocznej Nagrody Nobla w dziedzinie literatury