

POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

VOL. 68 Z. 1 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2025



**SREBRNY MEDAL DLA ICTJ NA MIĘDZYNARODOWEJ
WYSTAWIE WŁASNOŚCI INTELEKTUALNEJ,
WYNALAZCZOŚCI, INNOWACJI I TECHNOLOGII „IPITEX”**

(fot. NRCT, więcej na str. 35)

1-2025

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI NR 1/2025

60-LECIE PRACY NAUKOWEJ PROF. JERZEGO NARBUTTA
W INSTYTUCIE NA ŻERANIU

Aleksander Bilewicz..... 2

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA
W 2024 ROKU

Piotr Witkowski..... 6

UWARUNKOWANIA I METODY OCENY EKONOMICZNO-
FINANSOWO-EFEKTYWNOŚCIOWEJ WDRAŻANIA
MAŁYCH REAKTORÓW MODUŁOWYCH W POLSCE

Zbigniew Krysiak..... 12

OGŁOSZENIA 22, 34, 39

DONIESIENIA Z KRAJU 23

DONIESIENIA ZE ŚWIATA 30

WYDARZENIA 35

INFORMACJE O KSIĄŻKACH

BEZPIECZEŃSTWO RADIOLOGICZNE

– KRZYSZTOF KRÓL

Krzysztof Rzymkowski..... 37

FELIETON

NA WŁASNE RYZYKO!

(„FILOZOFIA, METODYKA I PRAGMATYKA

RYZYKA” – CZ. II)

Marek Bielski..... 40

IN MEMORIAM

DARIUSZ WITOLD KULCZYŃSKI

(01.06.1953 – 09.12.2024) 41

POŻEGNANIE DARIUSZA WITOLDA KULCZYŃSKIEGO

(01.06.1953 – 09.12.2024) 44

PROF. ANDRZEJ STRUPCZEWSKI

(02.03.1937 – 18.02.2025) 46

ŻEGNAMY RYSZARDA SKOTNICKIEGO

(05.01.2025) 48

PROF. DR HAB. EDWARD CHRUŚCIEL

(07.04.1937 – 27.02.2025) 48



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:
Krzysztof Madaj
k.madaj@ichtj.waw.pl

Komitet redakcyjny:
Wojciech Głuszewski
Marek Rabiński
Łukasz Sawicki
Elżbieta Zalewska

Współpracują z nami:
Marek Bielski
Stanisław Latek
Andrzej Mikulski
Małgorzata Nowina-Konopka
Małgorzata Sobieszczyk-Marciniak

Redakcja:
PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

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

Opracowanie graficzne:
Daniel Jaskółta (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 odrzucone.

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 60 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. Chocimska 4, 87-800 Włocławek

Szanowni Państwo

Z przyjemnością przedstawiam Państwu pierwszy noworoczny numer „Postępów Techniki Jądrowej”, w którym zgromadziliśmy tradycyjnie artykuły oraz doniesienia związane z nauką, technologią jądrową oraz szeroko pojętą atomistyką.

Pierwszy artykuł przygotowany przez prof. Aleksandra Bilewiczę przedstawia dorobek 60-letniej kariery naukowej prof. Jerzego Narbutta, jednego z pionierów w dziedzinie chemii jądrowej w Polsce. Autor, będący jednym z jego pierwszych uczniów, opisuje różnorodne osiągnięcia prof. Narbutta, poczynając od jego pracy w Zakładzie Radiochemii, przez badania nad chemią atomów gorących, aż po wkład w energetykę jądrową i rozwój radiofarmaceutyków. Podkreśla jego znaczenie w kontekście technologii odzysku kwasu borowego oraz badań nad chemią koordynacyjną po 1989 r., które miały istotne znaczenie dla zastosowań radionuklidów w medycynie. Artykuł ukazuje wpływ pracy prof. Narbutta na rozwój polskiej atomistyki oraz wyzwania, przed którymi stanęła ta dziedzina w kolejnych dekadach.

Piotr Witkowski w swoim artykule opisuje wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, który od ponad 50 lat jest eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku. Reaktor, będący basenowym obiektem jądrowym z ciśnieniowym obiegiem kanałów paliwowych, jest wykorzystywany do produkcji radioizotopów oraz prowadzenia badań z wykorzystaniem neutronów. Autor przedstawia szczegółowe parametry techniczne reaktora, opisując charakterystykę jego pracy oraz najważniejsze prace modernizacyjne, które były wykonane w minionym roku.

W kolejnym artykule prof. Zbigniew Krysiak przedstawia analizę metod pomiaru oraz efektywności inwestycji w reaktory jądrowe typu SMR (Small Modular Reactors). Autor podkreśla, że reaktory jądrowe oferują niższe ceny energii oraz stabilność, co czyni je korzystniejszymi od źródeł odnawialnych, takich jak energia słoneczna czy wiatrowa. W szczególności reaktory typu HTR (High-Temperature Reactor) charakteryzują się najniższymi kosztami produkcji energii elektrycznej (LCOE) oraz pozytywną wartością bieżącą netto (NPV), co wskazuje na obiecujący potencjał polskiego reaktora POLA-HTGR. W artykule zastosowano symulacje Monte Carlo do analizy efektywności finansowej i zarządzania projektami SMR, zwracając uwagę na potrzebę weryfikacji dotychczasowych metod oceny ekonomiczno-financej. Autor wskazuje na konieczność opracowania nowych modeli finansowania oraz zarządzania, które uwzględnią różne rodzaje ryzyka oraz zaangażowanie różnych podmiotów w projekty SMR.

Oprócz artykułów, w publikacji uwzględniliśmy także informacje z kraju i ze świata, które umożliwiają na szersze spojrzenie na wydarzenia związane z technikami jądrowymi.

W dziale „Doniesienia krajowe” znajduje się relacja z seminarium technicznego, które odbyło się w Jachrance k/Warszawy, poświęcone udziałowi polskiego sektora konstrukcji stalowych w realizacji projektów polskiej energetyki jądrowej. Warto również zwrócić uwagę na debatę na temat marnowania żywności, w której omówiono skuteczne metody zapewnienia bezpieczeństwa mikrobiologicznego, w tym radiacyjną higienizację.

Ponadto, znajdują Państwo informacje o pierwszym spotkaniu koordynacyjnego w ramach projektu Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej dotyczącego ograniczania gazów cieplarnianych z wykorzystaniem technologii radiacyjnej. Nie zabraknie również relacji z uroczystości wręczenia nagród Fundacji na rzecz Nauki Polskiej oraz konferencji „Analiza Chemiczna w Ochronie Zabytków”.

Zachęcam do zapoznania się z wiadomościami z zagranicy. W szczególności warto zwrócić uwagę na osiągnięcia dotyczące paliw termojądrowych, które zostały wykryte podczas demonstracji lasera na tokamaku Joint European Torus. Dodatkowo, w kontekście amerykańskiej energetyki jądrowej, planowane jest ponowne uruchomienie elektrowni Three Mile Island. To tematy, które z pewnością będą miały wpływ na przyszłość technologii jądrowych na całym świecie.

W bieżącym numerze pragnę zwrócić uwagę na wydarzenia takie jak posiedzenie Polskiego Towarzystwa Nukleonowego oraz Międzynarodową Wystawę Własności Intelktualnej, Wynalazczości, Innowacji i Technologii „IPITeX”, zorganizowaną przez Narodową Radę Badań Naukowych.

„Bezpieczeństwo Radiologiczne” autorstwa Krzysztofa Króla to wyjątkowa publikacja, która w przystępny i interesujący sposób zgłębia szeroki wachlarz zagadnień związanych z bezpieczeństwem jądrowym. Książka ta, będąca mini encyklopedią ochrony radiologicznej, oferuje skondensowane opisy kluczowych problemów, co czyni ją niezwykle wartościowym źródłem wiedzy. Dr Krzysztof Rzymkowski, recenzent tej publikacji, podkreśla jej znaczenie jako wprowadzenia do technik jądrowych dla studentów kierunków związanych z energetyką jądrową.

Marek Bielski w swoim felietonie pt. „Na własne ryzyko!” podejmuje niezwykle istotny temat ryzyka, w kontekście cyklu „Filozofia, metodyka i pragmatyka ryzyka”. Autor zmusza nas do refleksji nad tym, jak zbalansować głębokość analizy z przystępnością dla Czytelnika, aby nie przekształcić ambitnego przedsięwzięcia w jedynie zbiór „dobrych rad”. Jednocześnie zaprasza do wspólnej eksploracji złożonego świata ryzyka, kładąc nacisk na interdyscyplinarne podejście i praktyczne zastosowanie zdobytej wiedzy.

W numerze nie zabrakło także miejsca na refleksję i upamiętnienie wybitnych postaci związanych z atomistyką. Na zakończenie, pragniemy uczcić pamięć Dariusza Witolda Kulczyńskiego i prof. Andrzeja Strupczewskiego, którzy przez wiele lat współpracowali z redakcją Postępów Techniki Jądrowej. Pożegnania te obejmują również Ryszarda Skotnickiego oraz prof. dr. hab. Edwarda Chruściela.

Zachęcam do zapoznania się z lekturą, która mam nadzieję, przyniesie Państwu inspirację do dalszego zaangażowania się w rozwój technologii jądrowych w Polsce. W imieniu redakcji „Postępów Techniki Jądrowej” życzę wszystkim Czytelnikom radosnych i spokojnych Świąt Wielkiej Nocy.

Krzysztof Madaj
Redaktor naczelny

60-LECIE PRACY NAUKOWEJ PROF. JERZEGO NARBUTTA W INSTYTUCIE NA ŻERANIU

60th anniversary of Prof. Jerzy Narbutt's scientific work at the Institute in Żeran

Aleksander Bilewicz

Streszczenie: Artykuł opisuje dorobek 60-lecia pracy naukowej prof. Jerzego Narbutta. Autor, jeden z pierwszych uczniów prof. Narbutta, przedstawia jego drogę naukową, poczynając od asystenta w Zakładzie Radiochemii, przez badania w dziedzinie chemii jądrowej, aż po jego wkład w energetykę jądrową i radiofarmaceutyki. Profesor Jerzy Narbutt był pionierem w Polsce w badaniach związanych z chemią atomów gorących oraz badaniami podstaw procesów ekstrakcji, które przyczyniły się do rozwoju technologii odzysku kwasu borowego. Jego badania miały znaczenie zarówno w kontekście podstaw naukowych, jak i aplikacji praktycznych. Po 1989 r., po zmianach politycznych i gospodarczych w Polsce, prof. Narbutt wrócił do badań nad chemią koordynacyjną, a jego prace przyczyniły się do rozwinięcia tematów związanych z zastosowaniami radionuklidów w medycynie. Artykuł podkreśla znaczenie pracy prof. Narbutta w kontekście rozwoju polskiej atomistyki i wyzwań, które stawiały przed nią kolejne dekady.

Abstract: The article describes the achievements of 60 years of scientific work of Prof. Jerzy Narbutt. The author, one of the first students of Prof. Narbutt, presents his scientific path, starting from an assistant at the Department of Radiochemistry, through research in the field of nuclear chemistry, to his contribution to nuclear energy and radiopharmaceuticals. Prof. Jerzy Narbutt was a pioneer in Polish research related to the chemistry of hot atoms and extraction processes, which contributed to the development of boric acid recovery technology. His research was important both in the context of scientific foundations and practical applications. After 1989, after political and economic changes in Poland, Prof. Narbutt returned to research on coordination chemistry, and his work contributed to the development of topics related to the applications of radionuclides in medicine. The article emphasizes the importance of Prof. Narbutt's work in the context of the development of Polish atomic science and the challenges it faced in the following decades.

Słowa kluczowe: chemia jądrowa, procesy ekstrakcji, energetyka jądrowa, radiofarmaceutyki, radionuklidy w medycynie

Keywords: nuclear chemistry, extraction processes, nuclear energy, radiopharmaceuticals, radionuclides in medicine

26 listopada 2024 r. odbyła się w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej uroczystość związana z 60-leciem pracy badawczej prof. Jerzego Narbutta, którą opisano w numerze 4-2024 Postępów Techniki Jądrowej. W trakcie tej uroczystości, jako jeden z jego pierwszych uczniów miałem okazję przedstawić drogę naukową Profesora. Ponieważ historia pracy badawczej, prof. Narbutta była związana ściśle z polską atomistyką pokazuje jej „zakręty”, jak również okresy jej stagnacji i braku rozwoju, dlatego może ona zainteresować czytelników Postępów Techniki Jądrowej. Stąd ten krótki artykuł.

Prof. Narbutt bezpośrednio po ukończeniu studiów w 1964 r. rozpoczął pracę w Zakładzie Radiochemii Instytutu Badań Jądrowych na Żeraniu zajmując się początkowo chemią atomów gorących. Były to lata burzliwego rozwoju atomistyki w tym chemii jądrowej. W tym czasie była to tematyka nowoczesna otwierająca nowe horyzonty zarówno w badaniach podstawowych jak i aplikacyjnych głównie w energetyce jądrowej, a także w medycynie, analizie chemicznej i przemyśle. Do tych zagadnień należała również chemia atomów gorących dotycząca zachowania się cząsteczek po reakcji jej

atomów z naładowanymi cząstkami, neutronami, a także po rozpadzie promieniotwórczym atomów. W takich warunkach mogą powstawać cząsteczki, które trudno byłoby otrzymać inną drogą np. XeO_4 [1]. Prof. Narbutt zajął się zachowaniem cząsteczek p-dibromobenzenu po naświetleniu strumieniem neutronów reaktora EWA w Świerku.

Następnie pod opieką prof. Sławomira Siekierskiego przygotował doktorat dotyczący podstaw procesu ekstrakcji, a szczególnie zajął się zastosowaniem teorii roztworów regularnych do opisu procesów ekstrakcyjnych kompleksów kobaltu z γ -pikoliną [2]. Powstała po uruchomieniu w 1958 r. reaktora EWA możliwość stosowania radioizotopów umożliwiła dogłębne badania procesów rozdzielczych w tym ekstrakcji metodą znaczników promieniotwórczych. Z drugiej strony ekstrakcja stała się podstawową techniką stosowaną w technologii jądrowej, szczególnie w przerobie wypalonego paliwa. Istniało, więc wtedy zapotrzebowanie na badania podstawowe tego procesu, które umożliwiały przewidywanie procesu ekstrakcji i dobór odpowiednich ekstrahentów.

Po ukończeniu doktoratu prof. Narbutt odbył staż podoktorski na Politechnice Chalmers w Geteborgu w laboratorium prof. Jana Rydberga (wnuka Johanneasa Rydberga, znanego powszechnie ze wzoru i stałej Rydberga). Powstały wtedy najciekawsze prace ówczesnego dra Narbutta opisujące nowe zjawisko tzw. hydratację zewnątrz-sferową. Na podstawie badań ekstrakcyjnych acetyloacetonianów kationów Be^{2+} dr Narbutt sformułował teorię tego zjawiska (rys. 1). Dotyczy ono hydratacji donorowych atomów w koordynacyjnie nasyconych kompleksach i może zmniejszać współczynniki ekstrakcji. We wcześniejszych pracach nie uwzględniano tego istotnego parametru. W dalszych pracach prof. Narbutt z współpracownikami potwierdził występowanie tego zjawiska przez zastąpienie donorowych atomów tlenu w ligandach acetyloacetonianowych atomami o niższej elektroujemności, np. siarką, co skutkowało osłabieniem hydratacji zewnątrz-sferowej. Prace te były kontynuowane w latach 80., a ich wyniki były podstawą habilitacji uzyskanej 1992 r. [3].



Rys. 1. Schemat hydratacji zewnątrz-sferowej kompleksu acetyloacetonianu berylu

Fig. 1. Scheme of extra-spherical hydration of the beryllium acetylacetonate complex

Równolegle do prowadzonych prac dotyczących podstaw procesu ekstrakcji, w 1978 r. prof. Narbutt rozpoczął swoją przygodę z energetyką jądrową, która trwała aż do ukończenia jego pracy zawodowej w 2024 r. W ramach programu budowy pierwszej polskiej elektrowni jądrowej część chemiczna pracowników ówczesnego Instytutu Badań Jądrowych uczestniczyła w szeregu pracach badawczo-wdrożeniowych dotyczących cyklu paliwowego, zagospodarowania odpadów promieniotwórczych i kontroli analitycznej. Prof. Narbutt wraz z mgr. Przybyłowiczem i mgr. Olzą zajęli się opracowaniem procesu odzysku kwasu borowego metodą ekstrakcyjną [4]. Kwas borowy (naturalny lub izotop B-10) dodawany jest do wody chłodzącej reaktora ciśnieniowego w celu wychwytywania neutronów i kontrolowania reakcji jądrowej. Aby zachować stałą efektywność pracy reaktora w miarę wypalania się paliwa jądrowego zmniejsza się jego stężenie w chłodziwie poprzez spuszczenie chłodziwa i dodawanie wody dejonizowanej. Powstają wtedy duże objętości ciekłych odpadów, które muszą być zagospodarowane. W drugiej połowie lat 70. ubiegłego

wieku Polska w ramach Rady Wzajemnej Pomocy Gospodarczej (RWPG) była odpowiedzialna za opracowanie metody jego zagospodarowania. Prowadzono pracę nad wariantem wyparnym z użyciem jonitów oraz technologią ekstrakcyjną, której opracowaniem kierował prof. Narbutt. Jednak wariant wyparno-jonitowy okazał się wydajniejszy ekonomicznie i prof. Narbutt włączył się w ten projekt, a potem nim kierował. Zaawansowanie tego projektu osiągnęło skalę półtechniczną.

Prace w tym projekcie wymagały także opracowania selektywnych wymienników jonowych, które mogłyby usuwać radionuklidy, zwłaszcza ^{137}Cs z zatężonych roztworów kwasu borowego. Prof. Narbutt w zespole z ówczesnymi magistrami Barbarą Bartoś i Aleksandrem Bilewiczem opracowali nowy selektywny na ^{137}Cs jonit kompozytowy zawierający żelazocyjanek tytanu inkorporowany w sferyczne ziarna żywicy fenolosulfonowo-formaldehidowej [5]. Jonit ten wykazywał wysoką zdolność sorpcji ^{137}Cs i miał dużą trwałość mechaniczną związaną z kulistym kształtem ziaren. Metoda otrzymywania jonitu kompozytowego została opatentowana w Polsce, Europie i USA. Zespół opracował przemysłową metodę produkcji jonitu kompozytowego, co pozwoliło na wyprodukowanie jego pilotażowej partii 300 kg. Otrzymany sorbent został pomyślnie przetestowany w Elektrowni Jądrowej w Kozłoduju (Bułgaria).

Tymczasem zmiana warunków ekonomicznych w Polsce po 1989 r., nadmiar energii elektrycznej spowodowany załamaniem produkcji przemysłowej, długotrwałe protesty aktywistów, a także negatywny odbiór energetyki jądrowej po katastrofie w Czarnobylu, spowodowały, że budowa została wstrzymana. W tym okresie zespół zajmujący się pracami badawczymi dla energetyki jądrowej musiał zająć się inną tematyką. Prof. Narbutt powrócił jednak do wcześniejszych zainteresowań związanych z chemią koordynacyjną i teorią procesów rozdzielczych.

Badając modelowe układy diketonów ze skandem prof. Narbutt wykazał, że liczba koordynacyjna w kompleksach może zależeć od odległości pomiędzy donorowymi atomami ligandu chelatującego. Dla małej odległości chelatujących atomów tlenu np. w tropolonie liczba koordynacyjna może osiągnąć wartość 7, gdy w chelatatach o większej odległości atomów donorowych maksymalnie 6. Bardzo ciekawe wyniki prof. Narbutt uzyskał w obliczeniowych pracach przeprowadzonych z dr. Czerwińskim [6, 7], gdzie poprzez obliczenia trwałości adduktów TOPO do tropolonianowych kompleksów kationów 3+ metali grup 3 i 13 zademonstrował, że energie tworzenia adduktów kationów metali grupy 3 (Sc^{3+} i Y^{3+}) są dużo większe niż odpowiednie energie dla kationów metali grupy 13 (In^{3+} i Tl^{3+}). Te własności są odpowiedzialne za wielkość synergicznej ekstrakcji tych kationów. Podobne zjawisko zaobserwował badając addukty TOPO z chelatami kationów zawierających wolną parę elektronową $6s^2$.



Fot. 1. Rok 1966. Przy analizatorze promieniowania gamma w laboratorium Zakładu Radiochemii. Od lewej: A. Siuda, S. Lis, R. Olszer, W. Smulek, T. Zelenay i J. Narbutt (Źródło: Od Instytutu Badań Jądrowych do Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej, Kronika i wspomnienia 1955-2015 pod redakcją dra inż. Lecha Walisia)

W dalszych pracach dotyczących hydratacji polie-
terów wspólnie z jego doktorantką Ewą Gniazdowską
wykazano, że separacja między atomami tlenu w czą-
steczce wpływa na hydrofilowo-hydrofobowe właści-
wości dieterów [8]. Efekt ten wynika nie tylko z różnej
liczby grup hydrofobowych w cząsteczce, ale także
z różnych stopni ich hydrofobowości, a także z hydro-
filowości atomów tlenu w różnych pozycjach. Na pod-
stawie tych prac wyciągnięto ogólny wniosek, że wkład
różnych części cząsteczek nie jest addytywny, a model
wkładu grupowego nie może być używany do opisu
właściwości fizykochemicznych wodnych roztworów
polieterów bez uwzględnienia struktury cząsteczek
substancji rozpuszczonej.

Na początku lat 2000. prof. Narbutt zaproponował,
aby tematyka związana z zastosowaniem chemii jądrowej
w medycynie znalazła się w priorytetowych kie-
runkach badawczych IChTJ [9]. Zbiegło się to w czasie
z przyznanymi przez Międzynarodową Agencję Energii
Jądrowej wizytami studyjnymi trzech pracowników na-
ukowych Zakładu Radiochemii (dr Ewy Gniazdowskiej,
dra Leona Fuksa i prof. Jerzego Narbutta) na Uniwersy-
tecie w Zurichu i w Instytucie Jądrowym w Rosendorf

(Niemcy). Na Uniwersytecie w Zurichu, w pracowni prof.
Rogera Alberto gdzie wówczas przebywali dr Fuks i prof.
Narbutt opracowano nową obiecującą metodę znakowa-
nia cząsteczek biologicznych aktywnych radionuklidem
^{99m}Tc w postaci jego trikarbonylkowych kompleksów. Za-
letą tych kompleksów była ich kinetyczna inertność oraz
możliwość łatwego znakowania poprzez mono, di i tri-
dentne ligandy. Ta tematyka zapoczątkowała badania
w dziedzinie chemii radiofarmaceutycznej w Centrum
Radiochemii i Energetyki Jądrowej. Dzięki uzyskanym
przez zespół grantom krajowym i europejskim tematyka
ta rozwija się dynamicznie do dzisiaj. Od 2005 r. około 20
doktorantów obroniło prace dotyczące zastosowania ra-
dionuklidów w diagnostyce i terapii medycznej, a 5 jest
już samodzielnymi pracownikami naukowymi.

Mimo sukcesów w badaniach radiofarmaceutycz-
nych to jednak procesy ekstrakcji i badania dotyczące ich
podstaw pozostały głównym obiektem zainteresowań
prof. Narbutta. W ostatnich latach powstała koncepcja
tzw. zamkniętego cyklu paliwowego, gdzie energetyka
jądrowa nie generowałaby groźnych dla środowiska
długozyciowych radionuklidów. Zamknięty cykl pali-
wowy oznacza więc, że wypalone paliwo jądrowe nie

jest uznawane za odpad promieniotwórczy, lecz jest przetwarzane w celu ponownego wykorzystania uranu i plutonu, a inne długożyciowe radionuklidy są przetwarzane w reakcjach jądrowych do krótkożyciowych, które mogą być bezpiecznie składowane w składowiskach powierzchniowych. Rozwiązanie tego problemu jest konieczne dla społecznej akceptacji energetyki jądrowej. Jednym z nierozwiązalnych dotychczas zagadnień dla zamknięcia cyklu paliwowego jest problem tzw. mniejszościowych aktynowców – ameryku i kiuru [10]. O ile inne długożyciowe radionuklidy jak neptun i pluton mogą być łatwo wydzielone w procesach przerobu paliwa, takich jak np. PUREX, to kationy Am^{3+} i Cm^{3+} nie mogą być prosto oddzielone od bardzo podobnych trójwartościowych kationów lantanowców obecnych w roztworze. Bez ich wydzielenia nie jest możliwa ich transformacja do krótkożyciowych lub stabilnych radionuklidów [11, 12].

Do rozwiązania tego problemu powstało wiele europejskich programów badawczych takich jak EURO-PART [13], DIAMEX, SANEX i GANEX [14], w których aktywnie uczestniczył prof. Narbutt. We wszystkich tych programach podstawową metodą rozdzielania mniejszościowych aktynowców i lantanowców była ekstrakcja ciecz-ciecz, w której prof. Narbutt był ekspertem. Profesor wraz z współpracownikami z IChTJ znalazł istotne miejsce w prowadzonych programach. Podstawą oddzielenia Am^{3+} i Cm^{3+} jest zastosowanie ekstrahentów mających tzw. miękkie atomy donorowe takie jak azot, fosfor czy siarka. W ramach tych europejskich programów zsyntezowano efektywne ligandy, poprzez obliczenia kwantowo-mechaniczne zoptymalizowano ich strukturę oraz przeprowadzono testy. Rezultatem prac badawczych prof. Narbutta i jego współpracowników w tych programach jest szereg publikacji dotyczących zarówno badań teoretycznych, spektroskopowych, jak i testów w układach ekstrakcyjnych.

Podsumowanie 60-letniej pracy naukowej prof. Narbutta

Nakreślona została historia badań związanych z atomistyką w drugiej połowie XX wieku i w XXI wieku. Nie można pominąć także okresów wzlotów, kiedy nastąpiło duże zapotrzebowanie na prace naukowe dotyczące szeroko rozumianej energetyki jądrowej, jak i regresu po katastrofach w Czarnobylu i Fukushima, podczas których radiochemicy znajdowali zajęcie w innych dziedzinach jak np. w wykorzystaniu radionuklidów w medycynie nuklearnej. Dzięki głębokiej znajomości podstaw chemii prof. Narbutt był zaangażowany w polską atomistykę, mimo zmieniających się trendów.

prof. dr hab. Aleksander Bilewicz,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura:

- [1] Ostyk-Narbutt J. (2015). 60 lat radiochemii na Żeraniu. W: *Od Instytutu Badań Jądrowych do Instytutu Chemii i Techniki Jądrowej. Kronika i wspomnienia 1955-2015* (s. 93-136). L. Waliś (Red.). Warszawa: Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.
- [2] Ostyk-Narbutt J. (1973). *Wpływ oddziaływań międzycząsteczkowych w fazie organicznej na ekstrakcję γ -pikoliny i dwutiocyjanianoczątero(γ -pikolina)kobaltu(III)*. Praca doktorska. Warszawa: Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.
- [3] Narbutt J. (1991). *Hydratacja β -diketonianów metali i jej wpływ na równowagi podziałowe w procesach ekstrakcji*. Warszawa: Instytut Chemii i Techniki Jądrowej. (Raport INCT-2119/V).
- [4] Narbutt J., Olza J., Przybyłowicz Z., & Siekierski S. (1979). Separation of fission and corrosion products from boric-acid solutions by solvent-extraction. *J. Radioanal. Chem.*, 51(2), 185-190.
- [5] Narbutt J., Bilewicz A., & Bartoś B. (1988). Composite ion-exchangers selective to cations of alkali-metals. *Chemia Anal.*, 33(2/3), 399-410.
- [6] Narbutt J., Czerwiński M., & Krejzler J. (2001). Seven-coordinate d^0 and d^{10} ions: Computational and experimental studies on tris(tropolonato)metal(III)-TOPO adducts. *Eur. J. Inorg. Chem.*, 12, 3187-3197.
- [7] Czerwiński M., & Narbutt J. (2005). Outer-sphere hydration and liquid partition of metal(III)chelate – density functional calculations. *Eur. J. Inorg. Chem.*, 3, 555-562.
- [8] Gniazdowska E., & Narbutt J. (2000). Hydration of dioxalkanes in aqueous solutions. *J. Mol. Liq.*, 84(3), 273-278.
- [9] Narbutt J. (2005). Trends in radiochemistry of the beginning of the 21st century. *Nukleonika*, 50(Suppl. 3), S77-S81.
- [10] Narbutt J. (2016). New trends in the reprocessing of spent nuclear fuel. Separation of minor actinides by solvent extraction. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska Sectio AA*, 71(1), 123-140.
- [11] Bourg S., Geist A., & Narbutt J. (2015). SACSESS – the EURATOM FP7 project on actinide separation from spent nuclear fuels. *Nukleonika*, 60(4), 809-814. DOI: 10.1515/nuka-2015-0152.
- [12] Steczek Ł., Narbutt J., Charbonnel M. -Ch., & Moisy Ph. (2015). Determination of formation constants of uranyl(VI) complexes with a hydrophilic SO_3 -Ph-BTP ligands, using liquid-liquid extraction. *Nukleonika*, 60(4), 821-827. DOI: 10.1515/nuka-2015-0150.
- [13] <https://cordis.europa.eu/project/id/508854/pl>
- [14] Narbutt J., Rejnis M., Herdzik-Koniecko I., Steczek Ł., & Wodyński A. (2014). Zbadanie wpływu wybranych ligandów hydrofilowych na proces grupowej ekstrakcji aktynowców – GANEX. W: *Rozwój technik i technologii wspomagających gospodarkę wypalonym paliwem i odpadami promieniotwórczymi* (s. 9-26). L. Fuks (Red.). Warszawa: Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.

PRACA REAKTORA BADAWCZEGO MARIA W 2024 ROKU

Research reactor MARIA operation in 2024

Piotr Witkowski

Streszczenie: Wysokostrumieniowy reaktor badawczy MARIA, jest eksploatowany w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku. Jest to reaktor basenowy z ciśnieniowym obiegiem kanałów paliwowych, moderatorem jest woda oraz beryl. Reaktor wykorzystywany jest do produkcji radioizotopów oraz do prowadzenia badań z wykorzystaniem neutronów. W artykule opisano parametry techniczne reaktora, charakterystykę jego pracy oraz najważniejsze prace modernizacyjne w 2024 r.

Abstract: The high-flux research reactor MARIA is operated at the National Center for Nuclear Research in Świerk. It is a pool reactor with pressurized fuel channels circuit, the moderator is water and beryllium. The reactor is used to produce radioisotopes and to conduct research using neutrons. The article describes the technical parameters of the reactor, its operating characteristics, and the most important modernization works in 2024.

Słowa kluczowe: reaktor MARIA, Narodowe Centrum Badań Jądrowych (NCBJ), eksploatacja reaktora MARIA w 2024 r.

Keywords: MARIA reactor, National Center for Nuclear Research (NCNR), operation of MARIA reactor in 2024

Reaktor badawczy MARIA (fot. 1.), znajdujący się w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Otwocku-Świerku jest jedynym działającym w Polsce reaktorem jądrowym. Po raz pierwszy osiągnął stan krytyczny 17 grudnia 1974 r. Pierwotnym przeznaczeniem reaktora były badania materiałowe na potrzeby programu budowy elektrowni jądrowych. Do chwili obecnej nigdy nie był wykorzystywany do zakładanego celu. Unikato-wa modułowa konstrukcja pozwala na wykorzystywanie produkowanych w reaktorze neutronów do wielu innych zastosowań. Obecnie głównym celem pracy jest napromienianie izotopów dla medycyny i przemysłu w pionowych kanałach izotopowych. Reaktor wyposażony jest w 25 pionowych kanałów, w których umieszczane są zasobniki o średnicy 25 mm zawierające materiały tarczowe. Dostęp do kanałów pionowych możliwy jest jedynie po wyłączeniu reaktora. Do realizacji krótkotrwałych napromienień i przeładunków izotopów reaktor jest wyposażony w system poczty hydraulicznej, obsługujący cztery oprzyrządowane kanały pionowe. Wyładunek napromienionego zasobnika z poczty hydraulicznej jest przedstawiony na (fot. 2.). W reaktorze napromieniane są również niskowzbożone płytki uranowe (o wzbogaceniu 19,75% w uran-235) z przeznaczeniem do produkcji molibdenu (Mo-99). Izotop Mo-99 ulega przemianie w technet (Tc-99m), będący najbardziej powszechnym na świecie radiofarmaceutykiem stosowanym w diagnostyce medycznej. Napromieniania odbywają się w kanałach molibdenowych zbliżonych konstrukcją do standardowego kanału paliwowego w gniazdach i-6 i f-7.

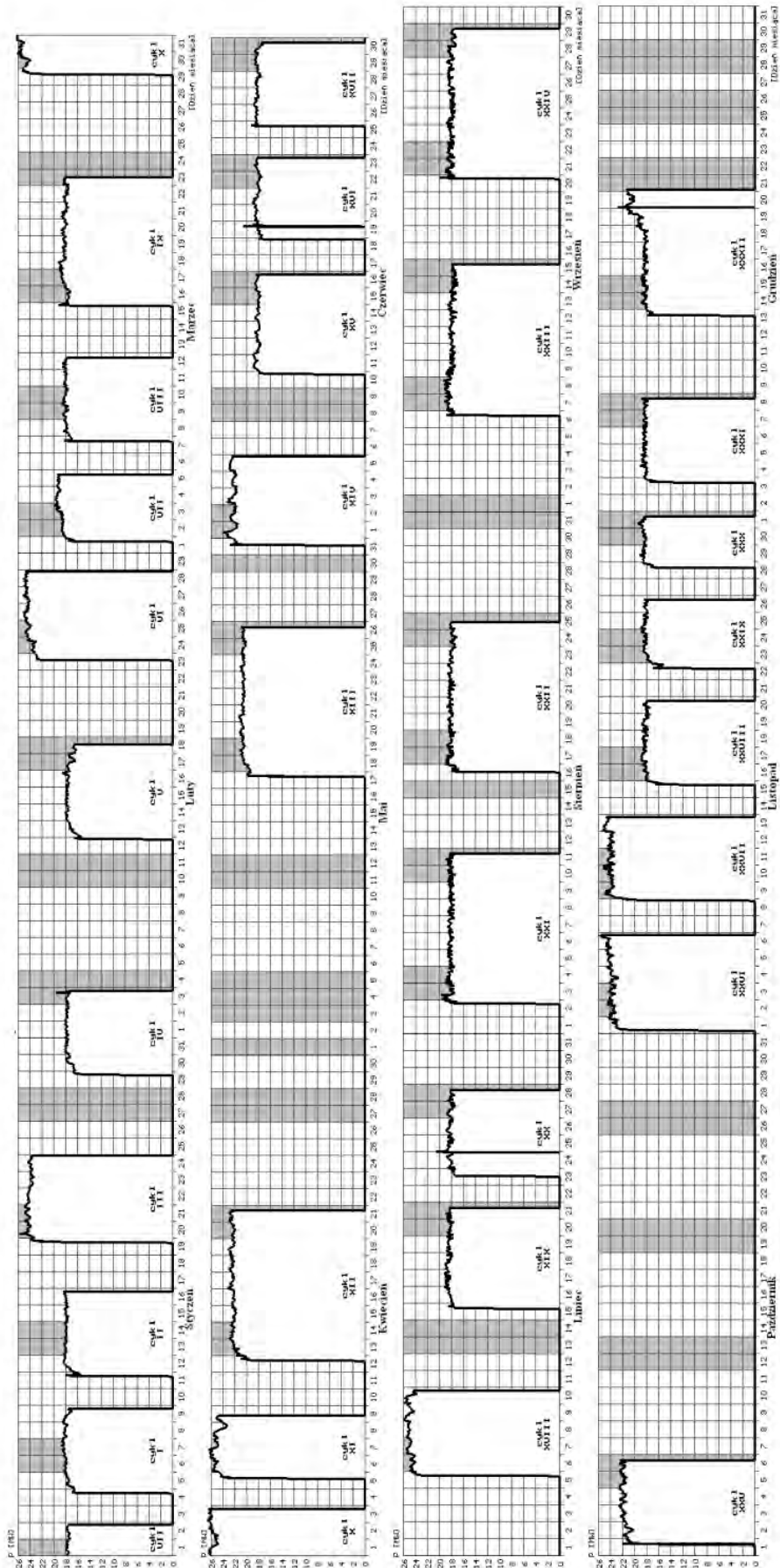
W reflektorze grafitowym reaktora znajdują się stanowiska do napromieniania materiałów w widmie neutronów prędkich. Reaktor posiada 12 takich pozycji

o średnicy 90 i 80 mm. Dodatkowo konstrukcja bloków berylowych i grafitowych pozwala na umieszczanie w rdzeniu, jak i w reflektorze grafitowym urządzeń eksperymentalnych oraz sond do badań materiałowych.

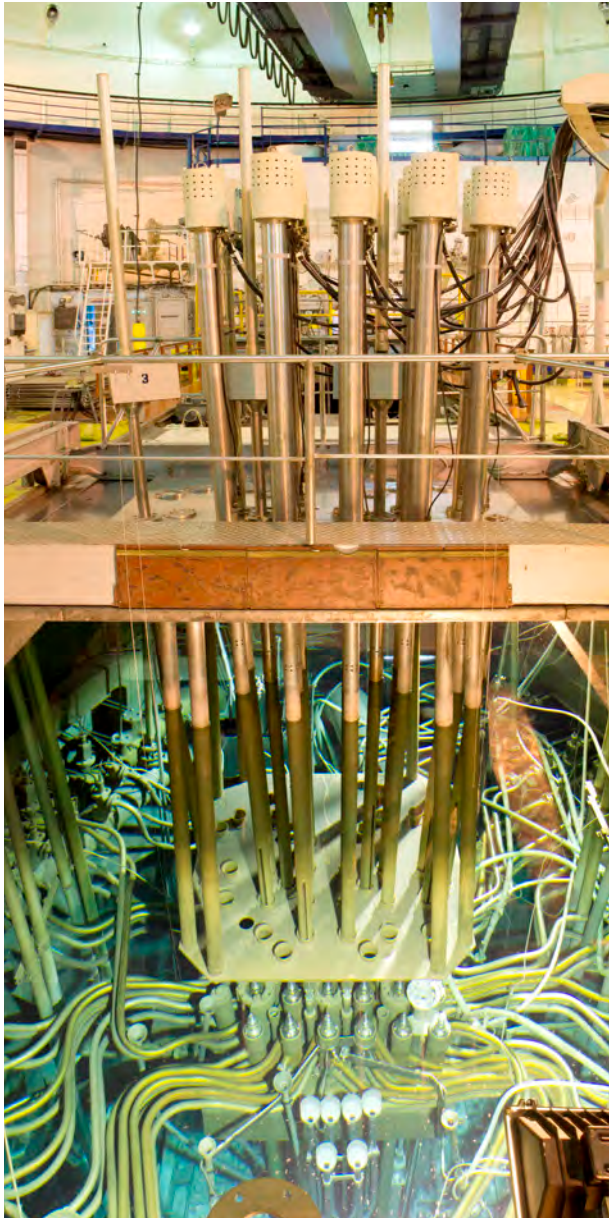
Reaktor został zaprojektowany do pracy z mocą cieplną do 30 MW. Obecnie reaktor pracuje z mocą nominalną 19-27 MW, która jest dostosowywana do napromieniania materiałów tarczowych i urządzeń eksperymentalnych umieszczonych w rdzeniu reaktora. Maksymalny strumień neutronów termicznych w rdzeniu reaktora wynosi $2,5 \cdot 10^{14}$ n/cm²s, natomiast neutronów prędkich $1 \cdot 10^{14}$ n/cm²s.

Reaktor MARIA posiada zezwolenie na eksploatację dwóch standardowych typów elementów paliwowych o oznaczeniach MR-6 i MC-5. Obecnie dobiega końca eksploatacja elementów paliwowych typu MR-6 wyprodukowanych przez rosyjską firmę TVEL. Elementy rosyjskiej produkcji zastępowane są elementami typu MC-5 produkcji Framatome-CERCA. Jest to paliwo o wzbogaceniu 19,75% U-235 w postaci U₃Si₂.

W 2024 r. reaktor był uruchamiany 36 razy. Czas pracy na mocy nominalnej wynoszącej od 18 do 27 MW wynosił 4533 godziny i obejmował realizację 32 cykli pracy (rys. 1.). Czas trwania cykli w zależności od programów napromieniania mieścił się w przedziale od 73 do 217 godzin. Harmonogram pracy reaktora był dostosowany do zapotrzebowania na napromienianie ośrodka radioizotopów POLATOM NCBJ oraz napromienianie tarcz uranowych do produkcji Mo-99. Reaktor był uruchamiany również na potrzeby realizacji prac badawczych, m.in. pomiarów parametrów reaktywnościowych rdzenia oraz pomiarów gęstości strumieni neutronów w elementach rdzenia reaktora.



Rys. 1. Zestawienie pracy reaktora MARIA w 2024 r.
Fig. 1. MARIA reactor operation diagram in 2024



Fot. 1. Reaktor MARIA (fot. NCBJ)
Photo 1. The MARIA reactor (photo NCBJ)

Napromieniania dotyczyły głównie takich materiałów tarczowych jak: dwutlenek telluru (do produkcji I-131), chlorek potasu (do produkcji S-35), iryd, bromek potasu, związki samaru, lutet, lantan, miedź, holm, kobalt, próbki materiałów alkalicznych, biologicznych i geologicznych. Całkowita aktywność napromienionych materiałów wyniosła około 1115 TBq dla zasobników z materiałami tarczowymi oraz około 4 GBq dla płytek uranowych przeznaczonych do produkcji Mo-99. Wykaz napromienianych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA, w postaci liczby załadowanych zasobników przedstawiono na (rys. 2). Ponadto w 2024 r. prowadzono napromienianie minerałów, w trzech specjalnych stanowiskach znajdujących się w matrycy grafitowej w widmie neutronów prędkich.

W 2024 r. nie prowadzono badań na wiązkach neutronów wyprowadzanych z kanałów poziomych reaktora z powodu przedłużającej się modernizacji hali fizycznej. Remont uległ znacznemu wydłużeniu przez problemy z wykonawcami oraz wysokie wymagania techniczne, które muszą zostać spełnione do eksploatacji aparatury badawczej, pozyskanej z wyłączonego z eksploatacji reaktora, w niemieckim instytucie badawczym Helmholtz-Zentrum-Berlin (HZB) w Berlinie.

W 2024 r. kontynuowano prace badawczo-rozwojowe w zakresie technologii sond termostatycznych. W poprzednich latach z sukcesem zakończono kampanie eksploatacji sond termostatycznych ISHTAR i MAKARONI. W ubiegłym roku prowadzono przygotowania do napromieniania sondy ITER oraz rozpoczęto eksploatację sondy JMTR. Sonda ITER zawiera próbki szkła przewidywanych do wykorzystania w reaktorze termojądrowym. Sonda JMTR została zaprojektowana i zbudowana w ośrodku JAEA (Japan Atomic Energy Agency) w Oarai z przeznaczeniem do eksploatacji w japońskim reaktorze JMTR. Reaktor JMTR został definitywnie wyłączony z eksploatacji. W wyniku negocjacji i zawarcia umowy z ośrodkiem JAEA, sonda została dostarczona do Polski i umieszczona w bloku berylowym reaktora MARIA. Celem eksploatacji sondy jest badanie zachowania się w polu promieniowania neutronowego czujników ciśnienia gazowych produktów rozszczepienia. Czujniki zostały skonstruowane do pomiaru ciśnienia oddziałującego na koszulki elementów paliwowych w reaktorach energetycznych. Wewnątrz sondy osiągnięta jest temperatura około 300°C, która jest stabilizowana poprzez system grzałek oraz układ kontroli ciśnienia próżni w przestrzeni izolacyjnej sondy. Eksploatacja sondy przebiega bez zakłóceń, a zakończenie napromieniania jest przewidywane w połowie 2025 r.

Reaktor badawczy MARIA jest w sposób ciągły monitorowany pod względem uwolnień produktów radioaktywnych do środowiska. Poziomy uwolnień do atmosfery przedstawione na rys. 3 i 4, w 2024 r. wyniosły:

- emisja gazów szlachetnych (głównie Ar-41 oraz izotopy ksenonu i kryptonu) – $1,4 \times 10^{13}$ Bq, co stanowi około 1,4% limitu uwolnień,
- emisja jodów – $3,1 \times 10^7$ Bq, co stanowiło 0,62% rocznego limitu uwolnień.

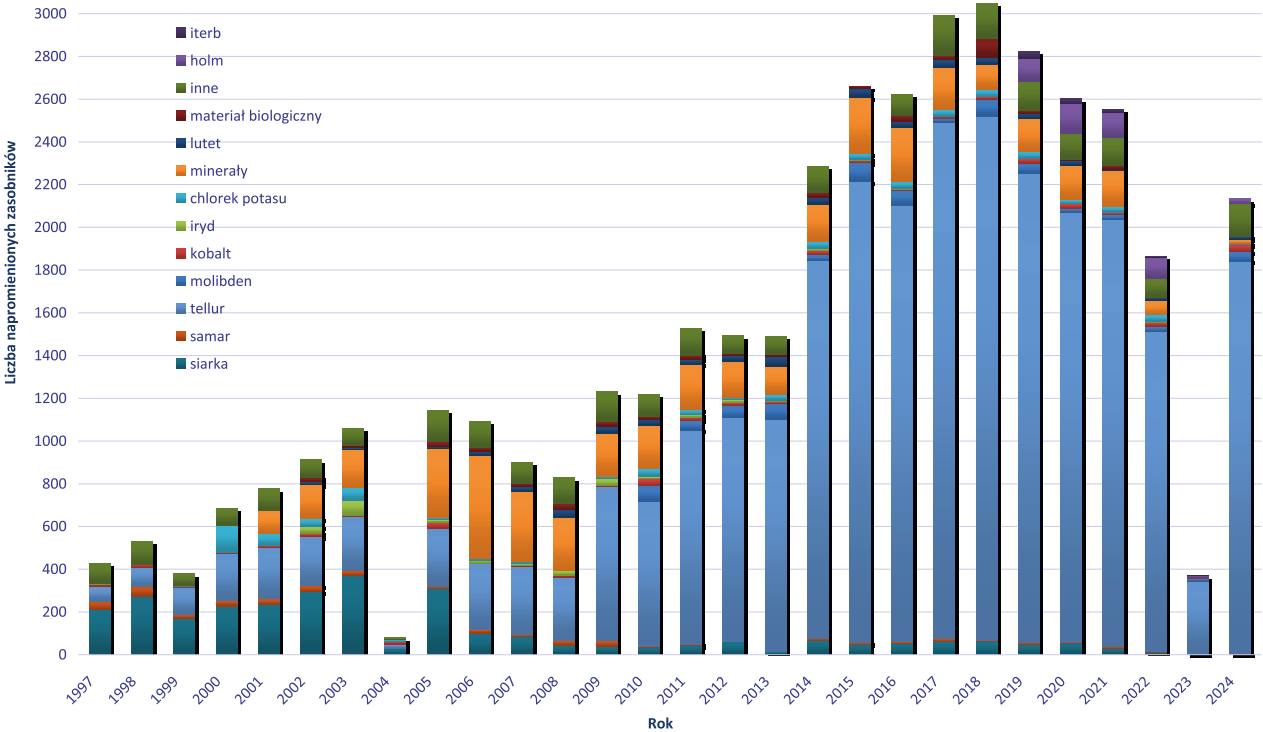
W 2024 r. 128 pracowników reaktora otrzymało dawkę mierzalną na całe ciało (Hp-10) zawierającą się w granicach 0,10-0,82 mSv, a 9 pracowników otrzymało dawkę mierzalną na skórę (Hp-0,07) w granicach 0,10-4,41 mSv. Zarówno emisje do atmosfery, jak i dawki dla personelu pozostają od lat na niskim poziomie.

Na rys. 5 przedstawiono dwa parametry, mówiące o dyspozycyjności reaktora MARIA na przestrzeni ostatnich 10 lat:

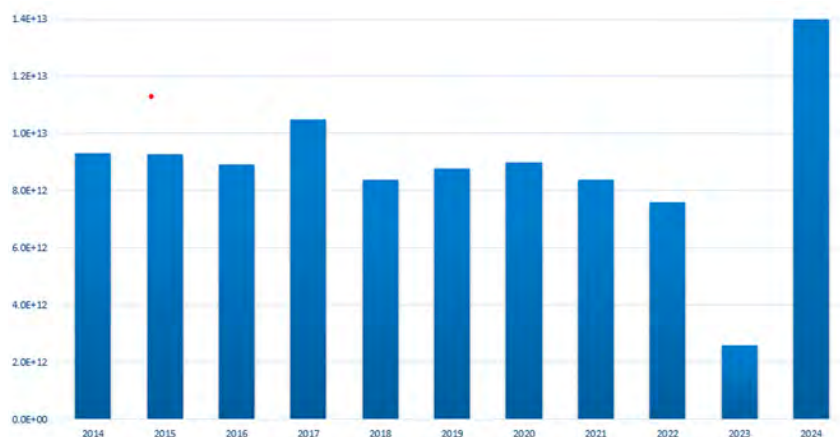
- stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin



Fot. 2. Wyładunek zasobnika z materiałem tarczowym w komorze izotopowej (fot. NCBJ)
Photo 2. Unloading the target material in the hot cell (photo. NCBJ)



Rys. 2. Wykaz napromienionych materiałów tarczowych w reaktorze MARIA w 2024 r.
Fig. 2. List of irradiated targets in MARIA reactor in 2024



Rys. 3. Roczne uwolnienia gazów szlachetnych z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat
Fig. 3. Yearly noble gases emission from MARIA reactor in the last 10 years



Rys. 4. Roczne uwolnienia jodów z reaktora MARIA w ciągu ostatnich dziesięciu lat
Fig. 4. Yearly iodines emission from MARIA REACTOR in the last 10 years

nieplanowanych wyłączeń w 2024 r. (A_1), który wynosił 98,6%,

- stosunek liczby godzin pracy reaktora do liczby godzin w 2024 r. (A_2) wynoszący 51,6%.

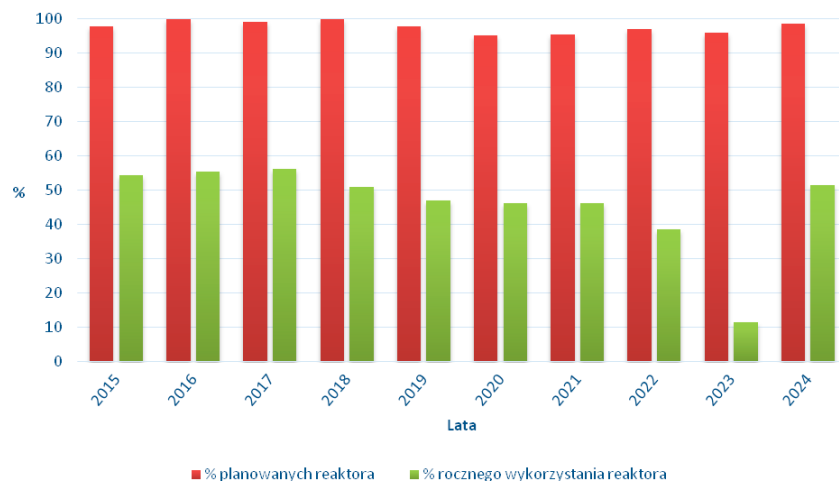
W minionym roku znacznie wzrosły parametry opisujące dyspozycyjność reaktora, który po przerwie modernizacyjnej, wrócił do standardowej eksploatacji. Parametr A_2 określający stosunek ilości przepracowanych godzin w roku wrócił do średniej wartości z poprzednich lat. W minionym roku końcowa liczba przepracowanych godzin wzrosła w porównaniu do planu z grudnia 2023 r., w wyniku dodatkowych zamówień na napromienianie materiałów tarczowych, w szczególności izotopu molibdenu-99. Na przełomie marca i kwietnia zmodyfikowano harmonogram, wprowadzając dwa dodatkowe cykle w programie molibdenowym oraz w listopadzie skrócono przerwę remontową o siedem dni, dodając cykl pracy reaktora również w programie molibdenowym.

W 2024 r. odnotowano sześć nieplanowanych wyłączeń reaktora. Dwa z nich spowodowały skrócenia

cykli pracy reaktora, obniżając parametr A_1 (stosunek liczby przepracowanych godzin do sumy liczby przepracowanych godzin i liczby godzin nieplanowanych wyłączeń) do 98,6%. Po czterech nieplanowanych wyłączeniach ponownie przywrócono nominalną moc reaktora. Przyczyną pierwszego wyłączenia była nieszczelność elementu paliwowego typu MR-6, na podstawie przekroczenia limitu w systemie wykrywania nieszczelności elementów paliwowych, podjęto decyzję o wyłączeniu reaktora i skróceniu cyklu pracy. Po wyłączeniu reaktora nie zaobserwowano wzrostu zagrożenia radiologicznego w obiekcie, a element paliwowy został usunięty z rdzenia i poddany dalszym badaniom. Kolejne wyłączenie, w wyniku którego skrócono cykl pracy, było związane z nieszczelnością pomiędzy obiegiem kanałów paliwowych, a obiegiem basenu. W wyniku nieszczelności podjęto decyzję o wyłączeniu reaktora. Woda z obiegu kanałów paliwowych została zatrzymana w basenie reaktora, nie powodując żadnych skutków radiologicznych w obiekcie reaktora. Przyczyną dwóch nieplanowanych wyłączeń były krótkotrwałe zaniki napięcia w zewnętrznej sieci zasilającej, powodujące obniżenie pa-

rametrów pracy głównych pomp chłodzenia reaktora i automatyczne wyłączenie reaktora. W takim przypadku chłodzenie przejmują tzw. pompy powyłączeniowe zasilane z wewnętrznych systemów zasilania (baterii akumulatorów lub agregatów prądotwórczych). Reaktor został uruchomiony ponownie po powrocie zasilania z zewnętrznych sieci zasilających. Przyczyną jednego wyłączenia był błąd ludzki operatora podczas rozruchu reaktora. Układ automatyki zadziałał poprawnie wyłączając reaktor, po analizie przyczyny przystąpiono ponownie do rozruchu reaktora. Przyczyną ostatniego nieplanowanego wyłączenia w 2024 r. był sygnał awaryjny będący wynikiem zakłócenia w jednym z torów Układu Automatyki Neutronowej (UAN). Pozostałe tory pomiarowe UAN nie zarejestrowały zakłóceń w pracy reaktora.

Reaktor MARIA został objęty planem finansowania modernizacji najbardziej istotnych elementów pozwalających na bezpieczną eksploatację reaktora po 2027 r. Program finansowania jest wynikiem Uchwały Rady



Rys. 5. Roczne wskaźniki pracy reaktora MARIA
Fig. 5. Yearly factors of reactor MARIA operation

Ministrów z dnia 20 czerwca 2023 r. w sprawie programu wieloletniego pod nazwą „Program modernizacji badawczego reaktora jądrowego MARIA”. W ramach programu realizowano modernizacje podczas przerwy remontowej w 2023 r., a w 2024 r. rozpoczęto kolejne prowadzone w standardowych przerwach remontowych. Harmonogram pracy reaktora zazwyczaj przewiduje dwie przerwy remontowe, niezbędne do przeprowadzenia napraw, przeglądów, testów, kalibracji i modernizacji elementów wyposażenia reaktora.

W 2024 r. zmodernizowano system Wykrywania Nieszczelności Elementów Paliwowych (WNEP). Zadaniem systemu jest wykrywanie nieszczelności elementów paliwowych pracujących w rdzeniu reaktora. System co cztery godziny kieruje próbkę wody z każdego elementu paliwowego w sposób automatyczny do układu detekcji neutronów opóźnionych. Neutrony opóźnione emitowane są przez produkty rozszczepienia (głównie izotopy Br-87 i I-137) zawarte w wodzie chłodzącej dany element paliwowy, a ich ilość zależy od stopnia uwolnienia gazowych produktów rozszczepienia przez koszulkę elementu paliwowego. W systemie został wymieniony układ sterowania i zbierania danych, zbudowany w oparciu o sterowniki PLC.

Kolejną zakończoną modernizacją w 2024 r. było uruchomienie nowej linii pomiarów neutronowych (tzw. impulsowej linii rozruchowej), która jako detektor wykorzystuje komorę rozszczepieniową. Do ubiegłego roku reaktor MARIA był wyposażony w tylko jedną linię pomiarową z komorą rozszczepieniową pozwalającą na pomiar strumienia neutronów przy bardzo małej mocy. Pozostałe układy automatyki neutronowej jako detektory wykorzystują komory jonizacyjne charakteryzujące się znacznie niższą czułością detekcji neutronów przy bardzo małych mocach. Nowy układ zwiększył

bezpieczeństwo reaktora i w kolejnym etapie po zakończeniu programu testów zastąpiono starą impulsową linię rozruchową drugim nowym torem pomiarowym z komorą rozszczepieniową.

Ponadto rozpoczęto projekty i częściowe dostawy do realizacji kolejnych modernizacji m.in. systemu dozymetrycznego, systemu wentylacji z nowymi zestawami filtracyjnymi, układów pomiarów cieplno-przepływowych, systemu zasilania i oświetlenia hali reaktora.

Należy nadmienić, że od 2022 r. na terenie Polski obowiązuje podwyższony poziom zagrożenia terrorystycznego, co wpłynęło to m.in. na zmniejszenie działalności edukacyjnej z powodu ograniczenia ilości osób odwiedzających.

Obecnie NCBJ wystąpiło do Państwowej Agencji Atomistyki z wnioskiem o wydanie nowego zezwolenia na eksploatację reaktora MARIA. Aktualnie obowiązujące wygasa 31 marca 2025 r. W wyznaczonym terminie zostało przekazane około 2000 stron zaktualizowanej dokumentacji reaktora, która jest weryfikowana przez organy dozoru jądrowego.

Podsumowując, reaktor MARIA w 2024 r. pracował bez większych zakłóceń, dostarczając cenne izotopy promieniotwórcze oraz był źródłem neutronów do prowadzenia prac badawczych. 17 grudnia 2024 r. minęło 50 lat od osiągnięcia pierwszego stanu krytycznego reaktora. Pomimo pół wieku eksploatacji przeprowadzone modernizacje pozwalają utrzymać go w dobrym stanie technicznym. Dodatkowo należy nadmienić, że obecnie jest to najnowszy pracujący w Europie reaktor badawczy dużej mocy (niemiecki reaktor FMR-II przez ostatnie kilka lat jest stale wyłączony z eksploatacji z powodów technicznych). Aktualnie realizowane i planowane modernizacje, w ocenie specjalistów NCBJ, pozwolą na wiele lat bezpiecznej pracy nawet do około 2050 r.

Piotr Witkowski,
Narodowe Centrum Badań Jądrowych,
Otwock-Świerk

Literatura:

- [1] „Eksploatacyjny raport bezpieczeństwa reaktora MARIA ERBM-23(1)”. Praca zbiorowa NCBJ.
- [2] „Sprawozdania z eksploatacji reaktora MARIA za I; II; III; IV kwartał 2024 roku”. Praca zbiorowa DEJ NCBJ

UWARUNKOWANIA I METODY OCENY EKONOMICZNO-FINANSOWO-EFEKTYWNOŚCIOWEJ WDRAŻANIA MAŁYCH REAKTORÓW MODUŁOWYCH W POLSCE

Conditions and methods of economic-financial-efficiency assessment of implementation of small modular reactors in Poland

Zbigniew Krysiak

Streszczenie: W niniejszym opracowaniu przedstawiono metody pomiaru i efektywność inwestycji jądrowych w reaktory typu SMR. Reaktory jądrowe mają przewagę pod względem oferowania niższych cen energii niż te ze źródeł fotowoltaicznych lub farm wiatrowych. Ponadto w przeciwieństwie do farm fotowoltaicznych i wiatrowych elektrownie jądrowe są stabilnym źródłem energii, co redukuje ryzyko niewydolności systemu gospodarczego. W prezentowanej analizie badań literaturowych wykazano, że reaktory typu HTR (High-Temperature Reactor – Wysokotemperaturowy reaktor) wytwarzają najniższe wartości LCOE (Levelized Cost of Electricity), czyli jednostkowe niższe koszty produkcji energii elektrycznej niż inne SMR-y, a wartość bieżąca netto NPV (Net Present Value) takich projektów jest w pewnych przypadkach dodatnia w przeciwieństwie do innych rodzajów SMR-ów. Fakt ten wskazuje na duży perspektywiczny potencjał polskiego reaktora POLA-HTGR. Stosowanie symulacji Monte Carlo tworzy wielowymiarowy zestaw informacji istotnych do podejmowania dobrych decyzji w zakresie modelowania oceny efektywności, modelu finansowania i zarządzania inwestycją w SMR-y od początku do jej zamknięcia. W artykule zaprezentowano modele oceny kosztów produkcji reaktorów SMR w oparciu o teorię kosztów produkcji w kontekście ekonomii skali i krzywej uczenia się z wykorzystaniem symulacji Monte Carlo. W podsumowaniu wskazano na potrzebę weryfikacji dotychczas wykorzystywanych metod oceny ekonomiczno-finansowo-efektywnościowej, gdyż obecnie stosowane wykazują dużą rozbieżność w stosunku do danych oferowanych przez producentów. Studia najnowszych opracowań w literaturze przedmiotu z okresu 2020-2025 wskazują na duże potrzeby tworzenia nowych rozwiązań w zakresie oceny ekonomiczno-finansowo-efektywnościowej inwestycji w SMR-y, co wymaga uzupełnienia o zsynchronizowane działania i badania w zakresie tworzenia odpowiednich modeli finansowania inwestycji, modeli zarządzania w ogóle, w tym zarządzania różnymi rodzajami ryzyka oraz zaangażowania podmiotów gospodarczych i gospodarstw domowych w struktury właścicielskie SMR-ów.

Abstract: This paper presents the methods of measuring and efficiency of nuclear investments in SMR reactors. Nuclear reactors have an advantage in terms of offering lower energy prices than those from photovoltaic sources or wind farms. Moreover, unlike photovoltaic and wind farms, nuclear power plants are a stable source of energy, which reduces the risk of economic system failure. The analysis of literature studies has shown that HTR (High-Temperature Reactor) reactors provide the lowest LCOE (Levelized Cost of Electricity) values, i.e. lower energy production costs than other SMRs, and the NPV (Net Present Value) of such projects is in some cases positive, unlike other types of SMRs. This fact indicates a large prospective potential of the Polish POLA-HTGR reactor. The use of Monte Carlo simulation creates a multidimensional set of information essential for making good decisions in the field of modeling the efficiency assessment, financing model and management of the SMRs investment from the beginning to its closure. The paper presents models for assessing the production costs of SMR reactors based on the theory of production costs in the context of economies of scale and the learning curve using Monte Carlo simulation. In conclusion, we stated there is a need to verify the previously used methods of economic, financial and efficiency assessment, because the currently used ones show a large discrepancy in relation to the data offered by producers. Analysis of the latest papers on SMR made in the period 2020-2025 indicate a large need to create new solutions in the field of economic, financial and efficiency assessment of investments in SMRs, which requires supplementation with synchronized activities and research in the field of creating appropriate investment financing models, management models in general, including the management of various types of risk and the involvement of economic entities and households in the ownership structures of SMRs.

Słowa kluczowe: SMR, reaktor wysokotemperaturowy chłodzony gazem (HTGR), polski reaktor POLA-HTGR, NPV, DCF, WACC, IRR, Symulacja Monte Carlo Symulacja (SMC), LCOE, EROI, ekonomia skali, krzywa uczenia się, teoria kosztów produkcji

Keywords: SMR, High Temperature Gas-Cooled Reactor (HTGR), Polish reactor POLA-HTGR, NPV, DCF, WACC, IRR, Monte Carlo Simulation (MCS), LCOE, EROI, Economy of Scale, Learning Curve, Production Cost Theory

Wstęp

W ostatnich latach nastąpiło istotne zaawansowanie technologiczne w konstrukcji i budowie małych modularnych reaktorów jądrowych (Small Modular Reactor – SMR), a w szczególności wysokotemperaturowych (High Temperature Gas-cooled Reactors – HTGR). W okresie 2018-2023 w Narodowym Centrum Badań Jądrowych zaprojektowano koncepcję polskiego reaktora POLA. Polska znalazła się w czołowej grupie krajów, obok Japonii, Chin, Rosji, USA i Południowej Afryki, które pracują nad reaktorem typu HTGR. Dwa tego typu reaktory w Chinach i jeden w Japonii rozpoczęły już działalność operacyjną.

Obecnie, na świecie działa około 450 różnego typu elektrowni jądrowych, a prognozy wskazują, że w długiej perspektywie do 2050 r. nastąpi wielki boom popytowy na nowe elektrownie jądrowe. W perspektywie 25 lat na świecie może powstać około 1000-2000 nowych elektrowni jądrowych, w Europie około 100-200, zaś w Polsce około 10-20. Można sądzić, że istotny udział w budowie elektrowni jądrowych będą miały technologie typu HTGR. Krzywa wykładnicza postępu innowacyjnego, inżynierskiego, technologicznego i produkcyjnego reaktorów SMR wskazuje na duże prawdopodobieństwo, że rzeczywiście w przyszłości może powstać duża liczba nowych elektrowni jądrowych. Biorąc pod uwagę wyczerpujące się możliwości działania operacyjnego starych elektrowni, a w szczególności pierwszej generacji, budowanych po 1950 r., a także rosnącą liczbę podmiotów w świecie zaangażowanych przy produkcji różnych składników i komponentów do SMR-ów, jak i rosnące zapotrzebowanie na stabilne źródła energii w świecie przyszłość zastosowań SMR-ów wydaje się być bardzo obiecująca.

Wobec rysujących się dobrych perspektyw dla reaktorów SMR, w tym w szczególności dla typu HTGR jak polski reaktor POLA, istotny będzie rozwój adekwatnych metod do oceny ekonomiki, efektywności, ryzyka finansowego i modeli finansowania, a w szczególności odpowiedniego doboru instrumentów finansowych, struktury finansowania oraz podmiotów biorących udział w finansowaniu inwestycji jądrowej. Zagadnienie modelu finansowania powinno być w synchronizacji z modelami i metodami oceny efektywności i ekonomiki inwestycji w SMR. W tym kontekście jest bardzo ważne rozwijanie nowych modeli biznesowych w zakresie współpracy inwestorów z odbiorcami energii, którzy jednocześnie mogą być akcjonariuszami w przedsięwzięciach elektrowni jądrowych. Takie rozwiązanie, konsumentowi energii, jako akcjonariuszowi tworzy korzyści w postaci odbioru energii po kosztach produkcji i w ten sposób można uzyskiwać niższe ceny energii niż oferuje rynek.

Model biznesowy i w konsekwencji ocena efektywności na bazie elektrowni jądrowej powinien

uwzględniać korzyści, jakie czerpie odbiorca energii, które są stabilne, a nie tak jak w przypadku niestabilnych fotowoltaicznych lub wiatrowych źródeł. Pozyskiwanie energii z SMR-ów może prowadzić do nowego modelu biznesowego, w którym budowa SMR będzie następowała równolegle z budową lokalnej sieci przesyłania energii z takiej elektrowni. W takiej koncepcji grupa przedsiębiorstw znajdujących się w niewielkiej odległości od elektrowni wybuduje sieć przesyłową, jako użytkownicy energii. Takie rozwiązanie prowadzi do usunięcia kosztów tzw. opłaty przesyłowej, pobieranej przez centralną sieć energetyczną (w Polsce taką opłatę pobierają Polskie Sieci Energetyczne), która jest na poziomie ceny energii za kWh. Można dojść do wniosku, że kompleksowe i zsynchronizowane zarządzanie wszystkimi innymi elementami poza samą produkcją i budową elektrowni może stać się czynnikiem krytycznym dla powodzenia i efektywności ekonomicznej, a także wzrostu zainteresowania podmiotów gospodarczych i obywateli rozwojem oraz wdrażaniem elektrowni jądrowych SMR, a w szczególności typu HTGR. Rozwój kompetencji w wymiarze ekonomii i finansów na polskich uczelniach i w środowisku praktyków w zakresie wielopłaszczyznowego zarządzania inwestycjami jądrowymi będzie także motorem napędowym w przyspieszaniu wdrażania i budowy polskiego reaktora SMR POLA-HTGR w różnych regionach naszego kraju.

Metody badawcze wykorzystane w niniejszym opracowaniu obejmują: analizę danych wtórnych, studia literaturowe, syntezę opinii ekspertów, własne wystąpienia i dyskusje panelowe ze światowymi ekspertami w dziedzinie elektrowni jądrowych na konferencjach dotyczących SMR-ów. Do szacowania efektywności, kosztu produkcji energii i opłacalności inwestycji w SMR stosowane są różne narzędzia i modele takie jak: NPV (Net Present Value), IRR (Internal Rate of Return – Wewnętrzna stopa zwrotu), LCOE (Levelized Cost of Equity – Koszt kapitału własnego), EROI (Energy Return on Investment – Energetyczna Stopa Zwrotu z Inwestycji), WACC (Weighted Average Cost of Capital – Średni ważony koszt kapitału), DCF (Discounted Cash Flow – Zdyskontowany przepływ środków pieniężnych), ROM (Real Option Model – Model Opcji Rzeczywistych) oraz Symulacja Monte Carlo (SMC). Wymienione narzędzia i modele tworzą zespół swego rodzaju kryteriów przy ocenie ekonomiczno-finansowo-efektywnościowej inwestycji w SMR-y, co w procesie badania jest przedmiotem analizy przydatności i oceny wyników uzyskanych dla niektórych z wymienionych modeli.

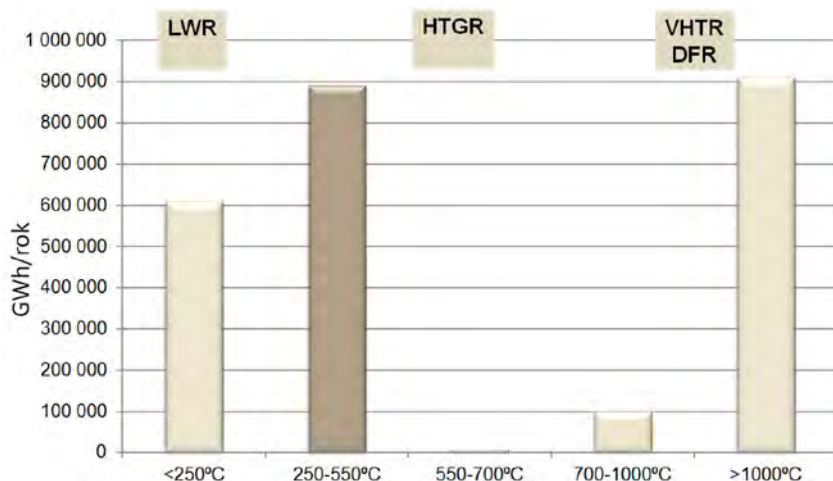
Przesłanki dla potrzeby wdrażania reaktorów SMR w Polsce

Istotnym impulsem dla rozwoju i wdrażania technologii reaktorów wysokotemperaturowych (High

Temperature Gas-cooled Reactors – HTGR lub High Temperature Reactors – HTR) jest zapotrzebowanie na ciepło, które w Europie szacuje się na poziomie około 600-900 TWh/rok w zakresach temperatur poniżej 250°C, pomiędzy 250-550°C i powyżej 1000°C, przy małym zapotrzebowaniu między 550°C a 1000°C [1, s. 9]. Taka skala popytu na ciepło wynika ze stosowanych technologii w różnych gałęziach przemysłu. Na rys. 1 przedstawiono prognozowane zapotrzebowanie na ciepło przemysłowe z perspektywy 2017 r. dla różnych zakresów temperatur, dla których przyporządkowane są określone technologie [2, s. 9]. Prognoza zapotrzebowania na ciepło w temperaturze poniżej 250°C wynosi około 600 TWh/rok i do tego celu są przeznaczone tzw. lekko-wodne reaktory (Light Water Reactor – LWR), dla temperatur od 250°C do 550°C stosuje się wysokotemperaturowe SMR typu HTGR, które powinny wytwarzać energię cieplną na poziomie 900 TWh/rok, zaś zapotrzebowanie na ciepło dla temperatur powyżej 1000°C wynosi około 900 TWh/rok, do czego należy stosować reaktory o bardzo wysokiej temperaturze (Very Hight Tempertaure Reactors – VHTR).

Wśród bardzo ważnych czynników motywujących do szybkiego wdrażania SMR-ów w Polsce można wymienić:

- deficyt mocy w długim horyzoncie czasowym, co wymaga szybkiego uzupełnienia w postaci nowych elektrowni zapewniających stabilne dostawy energii, a nie jak w przypadku fotowoltaicznych czy wiatrowych źródeł zależnych od warunków atmosferycznych;
- perspektywiczne wysokie ryzyko długich przerw w dostawie energii sięgających w horyzoncie do 2040 r., nawet średnio około 3-4 miesiące w roku;
- ukończenie opracowania koncepcji polskiego wysokotemperaturowego reaktora SMR POLA typu HTGR, wymaga sfinansowania wykonania dokumentacji inżynierskiej i na tej podstawie rozpoczęcia budowy pierwszych reaktorów POLA dla przemysłu;
- reaktor POLA-HTGR może zapewnić zasilanie ciepłem procesów produkcyjnych w wielu przedsiębiorstwach przemysłowych, a w obliczu dużego w przyszłości ryzyka długich przerw w dostawie prądu będzie zabezpieczeniem dla stabilnego i szybkiego wzrostu produktu krajowego brutto (PKB), czyniąc polską gospodarkę bardzo konkurencyjną;
- rozpoczęty w Polsce proces przygotowań do budowy reaktora SMR o mocy 300 MWe typu BWRX-300 przez Orlen Synthos Green Energy (OSGE) [3, s. 18];



Rys. 1. Zapotrzebowanie europejskiego przemysłu na ciepło procesowe (Źródło: EUROPAIRS). Zaznaczono adekwatne technologie reaktorowe, podano za [2, s. 9]

Fig. 1. European industry demand for process heat (Source: EUROPAIRS). Adequate reactor technologies are indicated, based on [2, p. 9]

- istotnie niższe nakłady inwestycyjne przy budowie SMR-ów w porównaniu do dużych elektrowni jądrowych;
- krótki czas budowy SMR-ów w porównaniu z dużymi elektrowniami jądrowymi;
- modułowa konstrukcja SMR-ów jest korzystna przy zwiększaniu skali produkowanej energii;
- dowolność w doborze lokalizacji i dostosowanych do jej aktualnego położenia zakładów przemysłowych lub innych odbiorców energii;
- niski koszt produkcji i stabilność dostaw energii w porównaniu z innymi technologiami takimi jak źródła fotowoltaiczne i wiatrowe.

Antycypowane koszty produkcji energii z SMR-ów są niższe niż z paneli fotowoltaicznych (PV) oraz farm wiatrowych (FW). Na rys. 2. przedstawiono koszty produkcji energii elektrycznej dla poszczególnych źródeł [6, s. 78], z czego wynika, że koszty produkcji energii z PV i FW bez ETS (Emissions Trading System – System handlu emisjami), czyli podatku za emisję dwutlenku węgla (CO₂), są kilkakrotnie wyższe od kosztów produkcji z węgla. W związku z tym ekspansja zastępowania produkcji energii z węgla przez PV i FW nie ma sensu ekonomicznego i w takiej sytuacji należy promować SMR-y typu HTGR, gdyż one będą produkować tańszą energię, a w dodatku będzie to stabilne źródło, w przeciwieństwie do PV i FW.

Na rys. 3. zaprezentowano deficyt mocy w polskim systemie energetycznym do 2040 r. wyrażony, jako dodatkowa wymagana moc dyspozycyjna netto w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w latach 2025-2040 (w GW), która jest prognozowana przez Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE) [7]. Biorąc pod uwagę stosunkowo długą perspektywę w porównaniu do okresu budowy SMR tworzy to konieczne wyzwanie dla wdrażania SMR-ów w Polsce. Brak szybkiego podejmowania

Technologia	Koszty bez ETS (PLN/MWh)	Koszty z ETS (PLN/MWh)
Brunatny	225	535
Kamienny	352	610
Gaz	450	450
Wiatr	754	754
PV	819	819
Inne OZE	530	530
Inne elektrownie	470	470

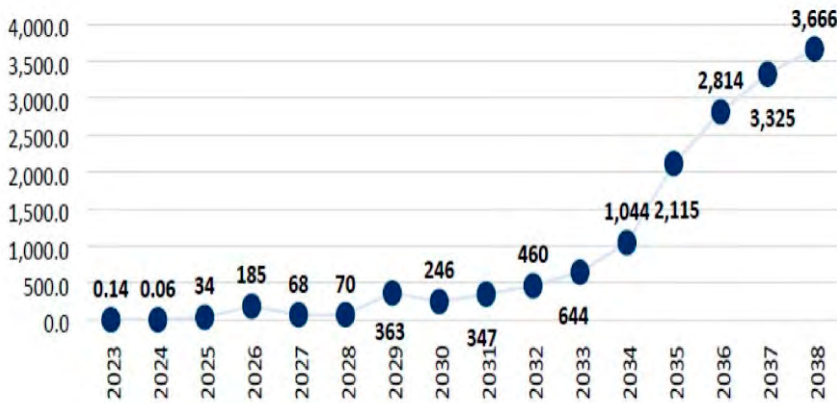
Rys. 2. Koszty produkcji energii elektrycznej dla poszczególnych źródeł [6, s. 78]
Fig. 2. Costs of electricity production for individual sources [6, p. 78]

inwestycji w małe reaktory będzie prowadzić do poważnych przerw w dostawach energii elektrycznej, a wzrost udziału drogiej energii z PV i PW będzie zwiększać ryzyko wyłączania prądu, a także pogarszać ekonomikę funkcjonowania przedsiębiorstw i całej gospodarki.

Na rys. 4. podano braki w dostawach energii elektrycznej w wymiarze ilości godzin w ciągu roku (h/rok) [7, s. 18], co jak podaje prof. Mielczarski jest informacją według danych Ministerstwa Klimatu i Środowiska. Wynika z tego, że w długiej perspektywie przerwy dostaw mogą średnio wynosić około 3 miesięcy w roku, co w przypadku braku możliwości zakupu energii za granicą byłoby katastrofą dla polskiej gospodarki. Nawet, gdyby import energii był możliwy to przełoży się na istotnie wyższe ceny energii, co z kolei wpłynie na mniejszą dynamikę wzrostu PKB i istotne pogorszenie salda bilansu handlowego Polski.

Ekonomika SMR z perspektywy teorii produkcji

Analiza ekonomiczna kosztów budowy reaktorów jądrowych może być dokonywana z perspektyw teorii produkcji, w której rosnące korzyści przez zmniejszanie



Rys. 4. Braki w dostawach energii elektrycznej w wymiarze ilości godzin w ciągu roku (h/rok) [7, s. 18]
Fig. 4. Shortages in electricity supply in terms of number of hours per year (h/year) [7, p. 18]

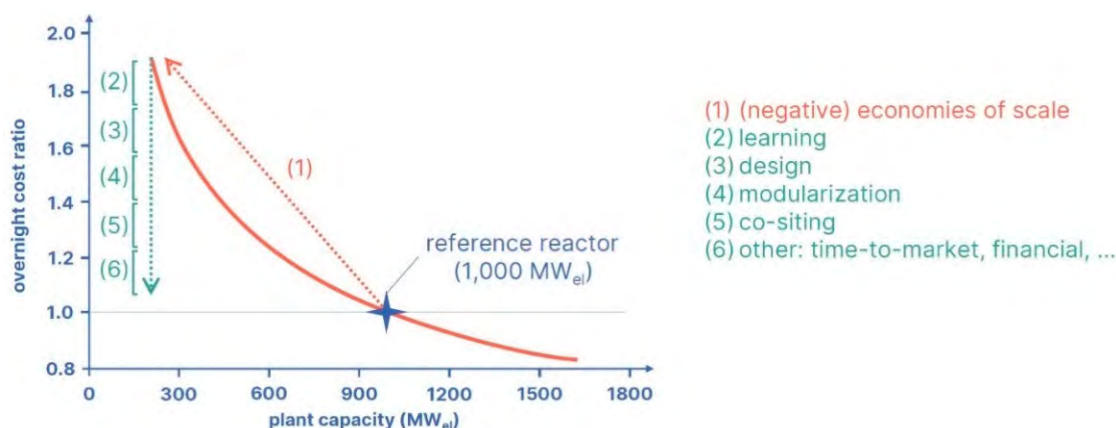


Rys. 3. Wymagana dodatkowa moc dyspozycyjna netto w Krajowym Systemie Elektroenergetycznym w latach 2025-2040 w GW.
Źródło: Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE), marzec 2024 [7]
Fig. 3. Required additional net available power in the National Power System in 2025-2040 in GW.
Source: Polskie Sieci Elektroenergetyczne (PSE), March 2024 [7]

jednostkowych kosztów produkcji wynikają z ekonomii skali oraz krzywej uczenia się w wyniku zbierania doświadczeń, szkoleń i powiększania kompetencji. Z tej perspektywy duże elektrownie jądrowe (Large Reactors – LR) powyżej 1000 MWe korzystają przede wszystkim z ekonomii skali, zaś przewagą SMR-ów są korzyści wynikające: z krzywej uczenia, standaryzowanej konstrukcji, modularności (dokładanie kolejnych modułów w celu zwiększania mocy), szybszej dostawy do odbiorcy, krótszego czasu instalacji [4, s. 3].

Zalety SMR-ów mogą prowadzić w pewnej perspektywie do wyrównania ich kosztów budowy w przeliczeniu na MWe z kosztami, jakie ponosi się przy budowie dużych elektrowni jądrowych powyżej 1000 MWe. Na rys. 5. przedstawiono koszty dla SMR-ów w zależności od mocy [5]. Mocą referencyjną, przy której koszty SMR na jednostkę mocy zrównują się z kosztami dla LR jest 1000 MWe. Na tym etapie kluczową przewagą kosztową mają LR, która wynika z ekonomii skali LR. Przewaga LR na skutek ekonomii skali (1) może być zrównoważona przez SMR poprzez przewagę dotyczącą szybkiego procesu uczenia (2), standaryzowanej konstrukcji produkowanej w fabryce (3), modularnej budowy (4), czyli dokładania kolejnych bloków jak swego rodzaju klocków lego, umieszczania kolejnych bloków w tej samej lokalizacji (5) oraz innych, jak szybszy oraz tańszy proces oferowania i sprzedaży, a także łatwiejsze i mniej kosztowne procesy finansowania (6).

Zastosowana metodyka szacowania całkowitych kosztów produkcji SMR-ów przez Black et al. [8] i Roulstone et al. [9] w oparciu o teorię kosztów produkcji prowadzi do możliwości określenia zmniejszania się kosztów budowy



Rys. 5. Koszty dla SMR i LR w zależności od mocy i czynników po stronie SMR równoważące ekonomię skali LR [5]

Fig. 5. Costs for SMR and LR depending on power and factors on the SMR side balancing the economies of scale of LR [5]

reaktorów SMR. Funkcja kosztów produkcji jest dana w następującej postaci [8,9]:

$$C_{SMR,n} = C_{LR} \times \left(\frac{P_{SMR}}{P_{LR}}\right)^b \times (1-x)^d$$

gdzie:

koszt budowy SMR

C_{LR} – koszt budowy LR

P_{SMR} – moc reaktora SMR

P_{LR} – moc reaktora LR

b – wskaźnik ekonomii skali

d – wielokrotność podwajania mocy produkcyjnych elektrowni SMR

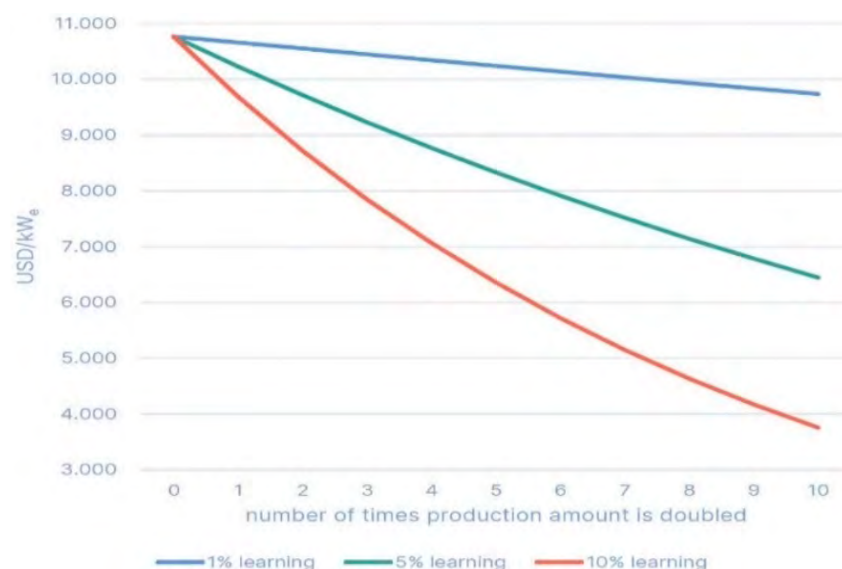
x – tempo uczenia się i zwiększania kompetencji

Na rys. 6. zobrazowano zmniejszanie się kosztów produkcji reaktora SMR dla następujących parametrów: $b = 0,5$; $d = 9,5$; $x = 6\%$ [5].

W dalszej kolejności dokonano analizy badania efektywności kilkunastu SMR-ów, do których w badanej grupie należą reaktory wysokotemperaturowe [4]:

- **EM2** – chłodzony helem na neutrony prężkie opracowany przez General Atomics w USA o mocy (265MWel/500MWth). Projekt ma na celu wykorzystanie węgla uranu, jako paliwa o projektowanym okresie eksploatacji 30 lat bez uzupełniania paliwa w celu produkcji energii elektrycznej i ciepła procesowego.
- **HTR-PM** – chłodzony gazem reaktor opracowany przez Instytut Technologii Jądrowych i Nowych Energii (INET) Uniwersytetu Tsinghua w Chinach o mocy (210MWel/2 x 250MWth). Reaktor ten wykorzystuje paliwo TRISO z tlenku uranu i jest oparty na reaktorze badawczym HTR-10, zbudowanym w 1992 r. [5].
- **PBMR-400** – chłodzony helem z płaszczem kulistym do wytwarzania energii elektrycznej i ciepła, wykorzystujący jako paliwo tlenek uranu TRISO. Został opracowany w Południowej Afryce na podstawie transferu technologii z niemieckiego reaktora AR w Jülich.

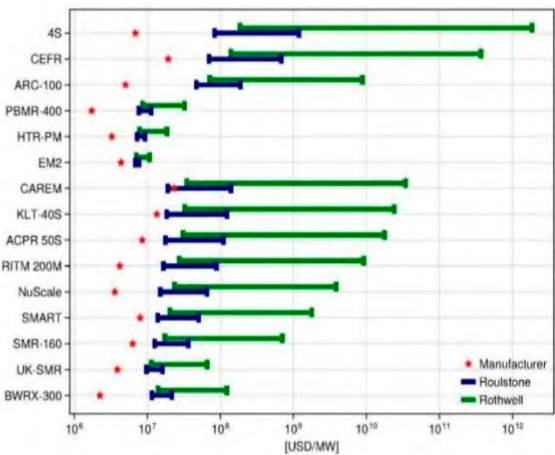
Na rys. 7. przedstawiono porównania kosztów produkcji SMR-ów i ich zakresu zmienności dla różnych reaktorów jądrowych. Przy opracowaniu wyników przyjęto następujące parametry dla funkcji kosztów produkcji: $x = 10\%$, $d = 1$, $b = (0,2-0,75)$. Opracowane wyniki



Rys. 6. Ilustracja spadku kosztów produkcji SMR wskutek procesu uczenia i zwiększania skali produkcji [5]

Fig. 6. Illustration of the decrease in SMR production costs due to the learning process and production scale-up [5]

Project	Type	Construction Cost [USD ₂₀₂₀ /MW]	Capacity [MW]	Lifetime [years]
BWRX-300	BWR	2,250,000	300	60
UK-SMR ¹⁰	PWR	5,215,937	443	60
SMR-160	PWR	6,312,500	160	80
SMART	PWR	10,186,916	107	60
NuScale	PWR	3,466,000	77	60
RITM 200M	PWR	4,212,000	53	60
ACPR 50S	PWR	8,532,000	40	40
KLT-40S	PWR	13,531,429	35	40
CAREM	PWR	23,187,500	30	40
EM2	HTR/GFR	4,373,300	265	60
HTR-PM	HTR	5,400,000	210	40
PBMR-400	HTGR	1,550,000	165	40
ARC-100	SFR	5,050,000	100	60
CEFR	SFR	23,034,536	20	30
4S	SFR	2,500,000	10	60
IMSR (300)	MSR	4,054,266	195	56–60
SSR-W	MSFR	1,950,000	30	60
e-Vinci	MR	5,771,429	3.5	40
Brest-OD-300	LFR	4,160,000	300	30



Rys. 7. Całkowite koszty budowy i ich odchylenia dla różnych rodzajów reaktorów [5]
Fig. 7. Total construction costs and their variations for different types of reactors [5]

w dwóch badaniach przez Roulstone i Rothwell porównano do deklarowanych przez producentów. Wynika z tego, że reaktory wysokotemperaturowe PBMR-400, HTR-PM i EM2 mają najniższe koszty produkcji, a przy tym posiadają najniższą wariancję tych kosztów, co świadczy o ich dużej przewidywalności, a tym samym o niskim ryzyku istotnego przekroczenia kosztów budowy reaktorów SMR typu HTR. Jest to dobry prognostyk do wdrażania budowy polskiego reaktora POLA-HTGR.

Analiza i ocena metod pomiaru efektywności SMR

Spośród różnych modeli i metod do oceny efektywności i ryzyka inwestycji w SMR do kluczowych można zaliczyć: NPV, EROI, LCOE z wykorzystaniem Symulacji Monte Carlo (SMC). SMC jest niezbędna ze względu na potrzebę wygenerowania rozkładu szacowanych wartości, a tym samym określenia poziomu ryzyka mierzono, jako prawdopodobieństwo uzyskania wartości negatywnych lub poniżej oczekiwanych, co szczególnie jest ważne przy obliczeniach NPV. W odniesieniu do EROI i LCOE, SMC pozwala na wyznaczenie przedziałów uzyskiwanych wartości i ich wariancji, która jest miarą ryzyka odchylenia od wartości oczekiwanej.

Jakość oszacowania miar efektywności w projektach SMR zależy, od jakości danych wejściowych i ich dokładności wyznaczenia. W tym kontekście oszacowanie składników Cash Flow (CF), między innymi kosztów rzeczowych, operacyjnych, materiałowych, osobowych, kosztów różnych źródeł finansowania, nakładów kapitałowych, czasu działalności operacyjnej reaktora i wielkości produkowanej energii wymaga szczegółowej wiedzy licznej grupy doświadczonych ekspertów z różnych dziedzin praktyki i nauki. Ze względu na długi okres działania produkcyjnego elektrowni jądrowej,

który rozciąga się w horyzoncie czasowym od 60 do 80 lat, często jest trudno dokładnie oszacować składniki CF dla nowej inwestycji, dlatego warto posiłkować się danymi pochodzącymi z podobnych już działających elektrowni jądrowych.

Energetyczna stopa zwrotu (Energy Return on Investment – EROI) jest miarą, która umożliwia porównywanie różnych technologii wytwarzania energii pod kątem, w jakim stopniu użyta energia na wejściu wytwarza energię na wyjściu elektrowni [10, s. 90].

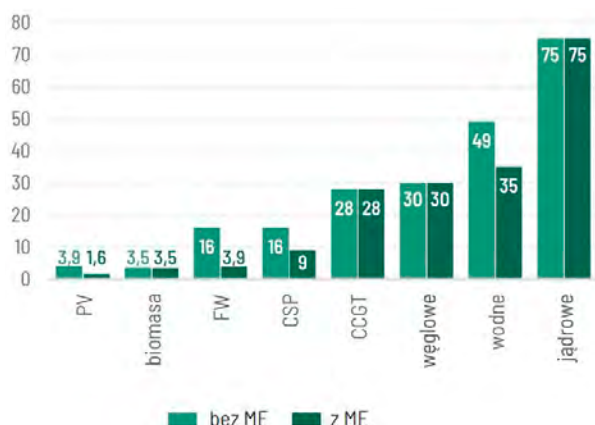
$$EROI = \frac{E_{out}}{E_{in}}$$

gdzie:

E_{out} – oznacza energię użyteczną, jaką oddaje jednostka wytwórcza (elektrownia) przez cały okres jej eksploatacji.

E_{in} – oznacza energię użyteczną, jaka jest konieczna, aby można było zbudować i eksploatować źródło wytwarzające energię o wielkości (zaangażowanie energetyczne na wejściu obejmuje koszty wydobycia paliwa i innych potrzebnych kopalin, koszty przetwarzania kopalin, magazynowanie i inne niezbędne nakłady energetyczne) [10 s. 90, 11, 12].

Na rys. 8. porównano EROI dla różnych technologii produkcji energii. Najwyższy wskaźnik EROI posiadają elektrownie jądrowe na poziomie około 75, zaś najniższy panele PV, biomasa i FW, dla których wskaźnik EROI wynosi około 3,5. Wskaźniki EROI nawet dla elektrowni węglowych i gazowych oraz wodnych są około 10 razy wyższe. W tym kontekście wskaźnik EROI wskazuje na nieopłacalność technologii FV i FW.



Legenda: PV – panele fotowoltaiczne, FW – lądowe farmy wiatrowe o wysokim współczynniku wykorzystania mocy, CSP – elektrownie skoncentrowanej energii słonecznej, CCGT – elektrownia gazowo-parowa, ME – magazyn energii.

Rys. 8. Wartość EROI dla różnych technologii wytwarzania energii [10, s. 91]

Fig. 8. EROI value for different energy production technologies [10, p. 91]

Wskaźnik EROI ma istotne implikacje w praktyce, a jego poziom wskazuje na wydolność lub niewydolność systemu gospodarczego. Na rys. 9. przedstawiono mapę ryzyka niewydolności systemu gospodarczego. Dla wskaźników EROI powyżej 10 nie ma ryzyka niewydolności systemu gospodarczego, zaś poniżej 10, a w szczególności w okolicach 5 dochodzi do silnej niewydolności systemu gospodarczego prowadząc do silnego kryzysu w związku z deficytem energii, którego nie można zatrzymać przez kilka lat, a odwrót od takiej sytuacji będzie trwał dekady.

dla $EROI > 10$

nie ma ryzyka niewydolności systemu gospodarczego.

$10 < EROI < 15$

oznacza niskie ryzyko niewydolności systemu gospodarczego.

$5 < EROI < 10$

oznacza wejście w obszar niebezpieczny dla systemu gospodarczego.

$5 < EROI < 3$

oznacza wejście w obszar bardzo niebezpieczny dla systemu gospodarczego.

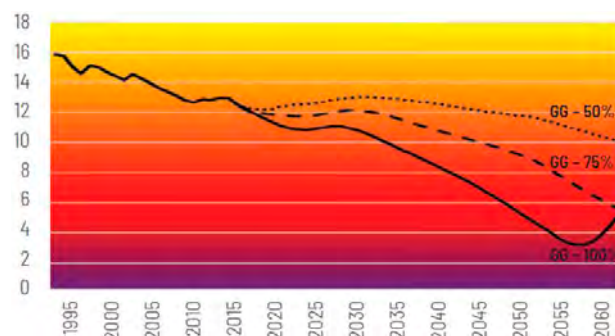
$3 > EROI$

oznacza niewydolność systemu gospodarczego.

Rys. 9. Wpływ poziomu EROI na wydolność systemu gospodarczego [10, s. 92]

Fig. 9. The impact of the EROI level on the efficiency of the economic system [10, p. 92]

Niskie EROI jako wypadkowa dla całej gospodarki będzie wynikać z nadmiaru FV i FW w strukturze produkcji energii. Na rys. 10. przedstawiono jak udział FV i FW (Green Growth, GG – Zielony wzrost) wpłynie na poziom EROI. Przy udziale FV i FW na poziomie = 75%, co chcą osiągnąć wkrótce niektórzy w Europie i Polsce, może spowodować, że za około 10 lat system gospodarczy w Polsce i Europie będzie niewydolny, pogarszając tym samym potencjał gospodarczy Europy, który i tak już coraz bardziej zostaje w tyle w stosunku do USA.

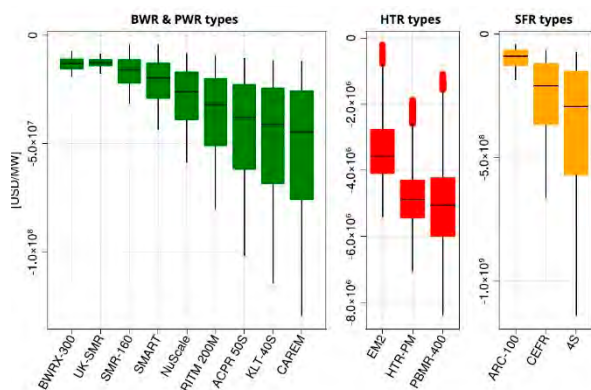


Rys. 10. Zmiana EROI systemu energetycznego w czasie pod wpływem rosnącego udziału FV i FW dla scenariuszy GG=50%, GG=75% i GG=100% [10, s. 91]

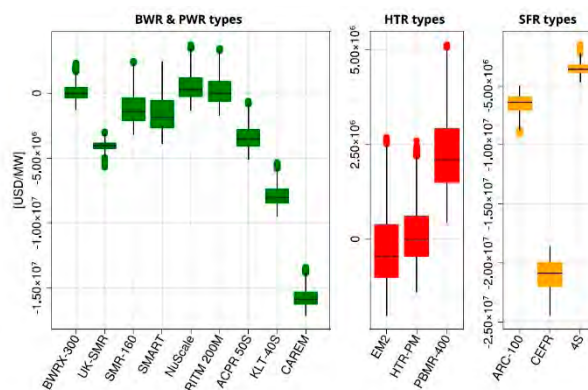
Fig. 10. Change in EROI of the energy system over time under the influence of the growing share of FV and FW for the scenarios GG=50%, GG=75% and GG=100% [10, p. 91]

Metoda Monte Carlo szacująca rozkład NPV została zastosowana w badaniach efektywności inwestycyjnej dla kilkunastu reaktorów, w tym także typu HTR [4]. W celu pomiaru opłacalności komercyjnej dla producenta oszacowano NPV na podstawie obecnie akceptowanych kosztów wytwarzania energii elektrycznej oraz kosztów uśrednionych. Do określenia rozkładów NPV wykorzystano dwa sposoby szacowania kosztów budowy reaktorów, jeden to teoretyczne podejście wykorzystujące szacowane koszty przez Roulstone i Rothwell, a drugi dla kosztów oferowanych przez producentów. Do SMC NPV w podejściu teoretycznym wykorzystano rozkłady dla kosztów inwestycyjnych szacowanych według Roulstone, średniej hurtowej ceny energii elektrycznej, średniego ważonego kosztu kapitału i współczynnika obciążenia mocy reaktora. Ponieważ w podejściu drugim, czyli oferowanych kosztów przez producenta koszty inwestycyjne są deterministyczne, więc symulowano tylko rozkład średniej hurtowej ceny energii elektrycznej jako zmiennej losowej, średniego ważonego kosztu kapitału i współczynnika obciążenia mocy reaktora. We wszystkich przypadkach założono okres budowy wynoszący trzy lata.

Analiza wyników symulacji NPV metodą SMC wskazuje, że dla prawie wszystkich z badanych reaktorów wartości NPV były ujemne w podejściu teoretycznym i prawie zawsze ujemne przy symulacji dla



(a) Roulstone cost estimation approach



(b) manufacturer advertised costs

Rys. 11. Oszacowanie przedziałów wartości NPV metodą SMC w modelu teoretycznym i danych producenta [4]**Fig. 11.** Estimation of NPV value ranges using the MCS method in the theoretical model and manufacturer's data [4]

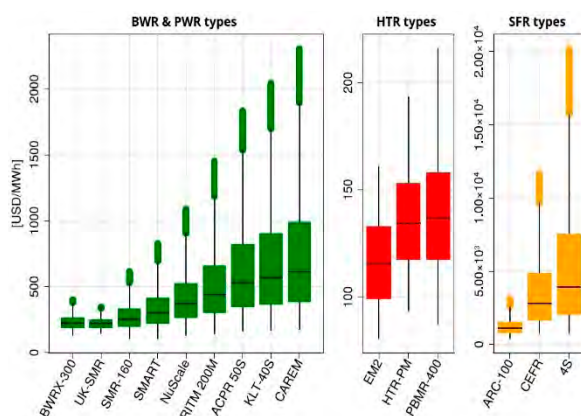
przypadku producenta, co zobrazowano na rys. 11 [4]. Wynik NPV dla reaktora z wodą pod ciśnieniem, którym jest amerykański reaktor NuScale, daje nieznacznie dodatnie wartości z medianą 0,3 mln USD/MWe, ale z zakresem między kwartylowym od -0,3 do 1,2 mln USD/MWe. Tylko reaktor wysokotemperaturowy PBMR-400 z Południowej Afryki wykazuje w pełni dodatnią NPV w przedziale między kwartylami od 1,5 do 2,9 mln USD/MWe i medianą 2,1 mln USD/MWe. Ta koncepcja wykazała największą różnicę między kosztami szacowanymi, a kosztami reklamowanymi przez producenta wśród wszystkich typów HTR.

Metoda szacowania LCOE oparta na SMC została zrealizowana na dwa sposoby. Pierwszy na podstawie teoretycznego podejścia do kosztów budowy, a drugi na podstawie oferowanych kosztów budowy przez producenta, co przedstawiono na rys. 12 [4].

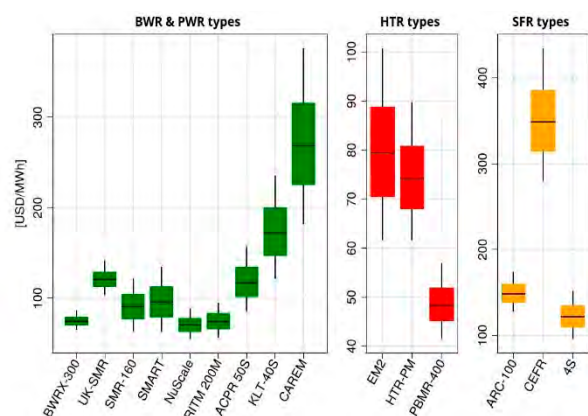
Można zaobserwować wyraźnie korzystniejsze wyniki, czyli niższe wartości LCOE w modelu dla

producenta, co może oznaczać duże możliwości do poprawy modelu teoretycznego, a także może stanowić przestrzeń i wyzwanie dla usunięcia w przyszłości swego rodzaju luki badawczej.

W tabeli 1. zaprezentowano oszacowanie przedziałów wartości LCOE metodą SMC w modelu teoretycznym [4]. Istotnym wnioskiem wynikającym z tej tabeli jest fakt, że reaktory HTR oferują najniższą wartość średnią LCOE przy jednocześnie najniższym odchyleniu standardowym. Może to świadczyć o dużej dokładności oszacowanej wartości lub o większej przewidywalności czynników kształtujących ekonomikę SMR typu HTR. Ta sytuacja może też wskazywać na zapotrzebowanie powtarzania tego typu badań dla reaktorów SMR ze szczególnym uwzględnieniem reaktorów HTR. W badaniach przeprowadzonych przez Steigerwald et al. [4] dotyczących NPV i LCOE nie są prezentowane kształty rozkładów. Nie można też zakładać, że rozkłady NPV i LCOE mają charakter normalny. Najczęściej są asymetryczne, co przedstawiono na rys. 13., który odzwierciedla



(a) Roulstone cost estimation approach



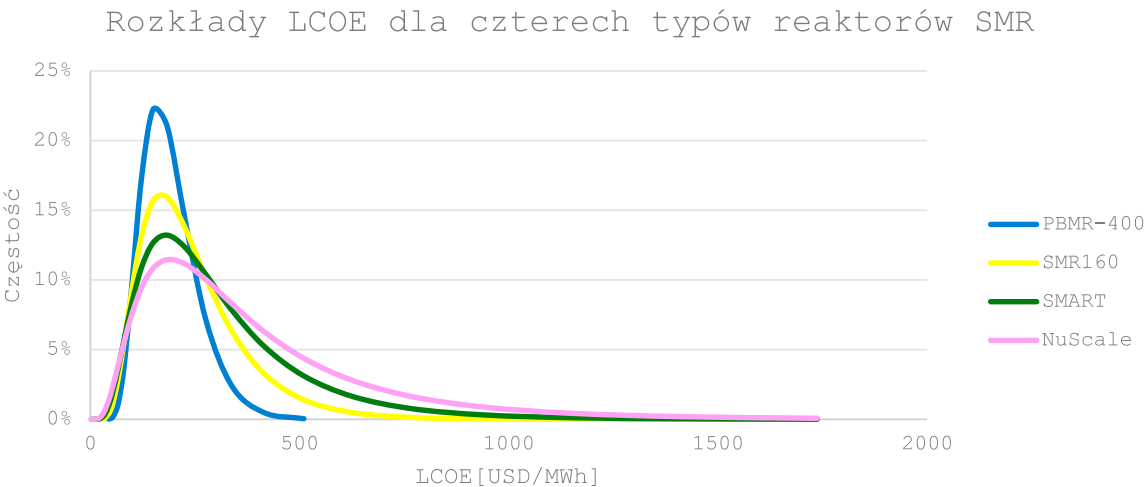
(b) manufacturer advertised costs

Rys. 12. Oszacowanie przedziałów wartości LCOE metodą SMC w modelu teoretycznym i na danych producenta [4]**Fig. 12.** Estimation of LCOE value ranges using the MCS method in the theoretical model and on the manufacturer's data [4]

Tabela 1. Oszacowanie przedziałów wartości LCOE metodą SMC w modelu teoretycznym [4]
Table 1. Estimation of LCOE value ranges using the MCS method in the theoretical model [4]

Summary statistics for LCOE simulations using the Roulstone estimation in USD₂₀₂₀/MWh.

Project	mean	std	min	q25	median	q75	max
BWRX-300	230	54	129	188	224	266	400
UK SMR	222	40	145	190	218	250	343
SMR-160	273	99	107	198	254	332	614
SMART	329	140	108	221	300	412	826
NuScale	414	187	133	267	371	524	1.088
RITM 200M	506	258	141	301	441	656	1.451
ACPR 50S	619	336	162	347	532	824	1.830
KLT-40S	672	376	169	368	572	901	2.042
CAREM	732	428	172	385	614	991	2.304
EM2	116	20	81	99	116	133	161
HTR-PM	136	22	94	117	134	153	193
PBMR-400	139	26	88	118	137	158	216
ARC-100	1.217	530	405	805	1.101	1.530	3.100
CEFR	3.484	2.244	733	1.648	2.805	4.861	11.662
4S	5.222	3.946	758	2.031	3.906	7.519	20.178



Rys. 13. Przykładowe charaktery rozkładów LCOE uzyskiwanych w procesie symulacji Monte Carlo
Fig. 13. Examples of the characteristics of LCOE distributions obtained in the Monte Carlo simulation process

rozkłady LCOE dla kilku rodzajów reaktorów. Z rozkładów asymetrycznych wynika, że właściwymi wartościami do oceny efektywności projektów nie będą wartości średnie LCOE, ale wartości najbardziej prawdopodobne.

Podsumowanie

W oparciu o prezentowane badania można stwierdzić, że reaktory typu HTR, do których należy polski reaktor POLA wykazują najkorzystniejsze wartości NPV i LCOE zarówno z perspektywy producenta, jak i odbiorcy energii. Reaktory HTR posiadają także wiele zalet i przewag nad innymi technologiami reaktorów jądrowych z perspektywy innych następujących charakterystyk:

zapotrzebowania w gospodarce na wysokie temperatury w procesach przemysłowych, zapotrzebowania w ciepłownictwie, elastyczności w doborze lokalizacji, czasu budowy, modułowości, standaryzacji konstrukcji i szybkości zawierania kontraktów handlowych.

Badania naukowe prezentowane w przedmiotowej literaturze wskazują, że oszacowania wartości NPV i LCOE są dużo wyższe niż te, które wynikają z oferowanych danych przez producentów reaktorów, co wskazuje na prawdopodobną lukę dotyczącą metod badania ekonomiki i efektywności finansowej inwestycji w SMR-y, która może implikować potrzebę do wprowadzenia istotnych korekt w obecnie stosowanych metodach, ich modyfikacji lub proponowania nowych.

Ujawniająca się luka badawcza w zakresie metod oceny ekonomiczno-finansowo-efektywnościowej pokazuje dużą perspektywę i wyzwanie dla rozwoju adekwatnych rozwiązań dla praktyki.

Ocenę ekonomiczno-finansowo-efektywnościowej inwestycji w SMR-y należy uzupełnić o zsynchronizowane działania i badania w zakresie tworzenia odpowiednich modeli finansowania inwestycji, modeli zarządzania w ogóle, w tym zarządzania różnymi rodzajami ryzyka oraz zaangażowania podmiotów gospodarczych i gospodarstw domowych w struktury właścicielskie SMR-ów, co umożliwi pozyskiwanie przez odbiorców energii po jak najniższych cenach, a w dalszej perspektywie będzie istotnie zwiększać rozwój gospodarczy i wzrost PKB oraz PKB per capita w sposób równomierny dla każdego podmiotu w Polsce lub innych państwach.

*dr hab. Zbigniew Krysiak, prof. SGH,
Szkoła Główna Handlowa,
Warszawa*

Podziękowania

Bardzo dziękuję następującym znakomitym ekspertom i naukowcom: prof. Wacławowi Gudowskiemu z Orlen Synthos Green Energy, dr. Józefowi Sobolewskiemu z Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku, dr. Agnieszce Boettcher z Narodowego Centrum Badań Jądrowych w Świerku, dr. Przemysławowi Żydakowi, prezesowi Decision Analysis Services, za możliwość dyskusji na temat SMR-ów i problemów elektrowni jądrowych w życzliwej i naukowej atmosferze oraz pozyskania opinii i wiedzy będących poza zakresem moich kompetencji i dyscypliny naukowej, co jak sądzę bardzo pomogło mi ukształtować prezentowany artykuł.

Literatura:

- [1] Boettcher A. et. al., Projekt GOSPOSTRATEG-HTR: Rezultaty Projektu, Postępy Techniki Jądrowej Vol. 66 Z. 1 2023, s. 9-19
- [2] Ministerstwo Energetyki, Możliwości wdrożenia wysokotemperaturowych reaktorów jądrowych w Polsce,

Warszawa, wrzesień 2017; <https://www.gov.pl/web/klimat/wysokotemperaturowe-reaktory-jadrowe-chlodzone-gazem-htgr>

- [3] Mikulski A., Energetyka Jądrowa na Świecie i w Polsce w latach 2023-2024, Postępy Techniki Jądrowej, Vol. 67 Z. 4 2024, s.13-18.
- [4] Steigerwald B., Weibezahn J. et. al., Uncertainties in estimating production costs of future nuclear technologies: A model-based analysis of small modular reactors, Energy 281 (2023) 128204, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544223015980>
- [5] Weibezahn J., The Economics of Small Modular Reactors, Copenhagen School of Energy Infrastructure, Department of Economics, Oslo April 24, 2024. <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://naee.no/wp-content/uploads/2024/04/NAEE-seminar-om-kjernekraft-240424-Jens-Weibezahn.pdf>.
- [6] Mielczarski W., Europejski zielony ład – koszty bezpośrednie dla gospodarki i społeczeństwa [w:] Drapieżny zielony (nie)ład, ekspertyza pod red. Artura Bartoszewicza, Wydawnictwo NSZZ Solidarność & Tysol sp. z o.o., 2024, s. 74-87.
- [7] Mielczarski W., Polityka i Energetyka Wpływ rewolucji energetycznej na politykę krajową i międzynarodową, Konferencja – Energetyczna Rewolucja: Skutki Społeczne i Polityczne, Stowarzyszenie Instytut Gospodarki Narodowej, 14 października 2024.
- [8] Black G. A., et al., Economic viability of light water small modular nuclear reactors: General methodology and vendor data, Renewable and Sustainable Energy Review, Volume 103, April 2019, Pages 248 – 258, [http://refhub.elsevier.com/S0360-5442\(23\)01598-0/sb42](http://refhub.elsevier.com/S0360-5442(23)01598-0/sb42)
- [9] Roulstone T. et al., Expanding nuclear's contribution to climate change with SMRs., Nuclear Future 2020-11-06
- [10] Chorowski M., Malecha Z., Granice implementacji technologii energetycznych postulowanych przez europejski zielony ład [w:] Drapieżny zielony (nie)ład, ekspertyza pod red. Artura Bartoszewicza, Wydawnictwo NSZZ Solidarność & Tysol sp. z o.o., 2024, s. 88-104.
- [11] D. Weißbach, F. Herrmann, G. Ruprecht, A. Huke, K. Czerski, S. Gottlieb, A. Hussein, Energy intensities, EROI (Energy Returned on Invested), for electric energy sources, „EPJ Web of Conferences” 2018, t. 189, s. 16.
- [12] D. Weißbach, G. Ruprecht, A. Huke, K. Czerski, S. Gottlieb, A. Hussein, Energy intensities, EROIs (Energy Returned on Invested), and energy payback times of electricity generating power plants, „Energy” 2013, t. 52, s. 210–221.



PLASMA 2025

INTERNATIONAL CONFERENCE ON RESEARCH
& APPLICATION OF PLASMAS

IFPiLM ZAPRASZA NA MIĘDZYNARODOWĄ KONFERENCJĘ NA TEMAT BADAŃ, DIAGNOSTYKI I ZASTOSOWAŃ PLAZMY – PLASMA 2025

Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy (IFPiLM) zaprasza na międzynarodową konferencję na temat badań, diagnostyki i zastosowań plazmy – PLASMA 2025, która odbędzie się w dniach **15-19 września 2025 r.** w Warszawie. To prestiżowe wydarzenie, organizowane od ponad 30 lat, przyciąga czołowych naukowców z całego świata i stanowi wyjątkową okazję do wymiany wiedzy oraz nawiązywania współpracy w dziedzinie fizyki plazmy.

Bogaty program naukowy

PLASMA 2025 obejmie szeroki zakres tematów, od podstawowych procesów plazmowych po zaawansowane technologie i ich praktyczne zastosowania. Zaplanowano następujące sesje tematyczne:

- plazma w tokamakach i stellaratorach – fuzja z magnetycznym utrzymaniem plazmy,
- plazma wytwarzana przez wiązki laserowe – fuzja z inercyjnym utrzymaniem plazmy,
- plazma kosmiczna i astrofizyka laboratoryjna,
- diagnostyka plazmy, pomiary i przetwarzanie danych, w tym sztuczna inteligencja,
- medycyna plazmowa, zastosowanie w rolnictwie i przemyśle,
- procesy elementarne, ogólna fizyka plazmy, plazma pyłowa.

20 lat polskiej Asocjacji Euratom-IFPiLM

Tegoroczna edycja konferencji będzie miała wyjątkowy charakter – podczas ostatniego dnia wydarzenia odbędą się **obchody 20-lecia**

koordynacji badań nad syntezą jądrową oraz utworzenia polskiej Asocjacji Euratom-IFPiLM. W programie przewidziano wykłady i panele dyskusyjne z udziałem osób, które współtworzyły Asocjację, a także czołowych przedstawicieli świata nauki i przemysłu, zaangażowanych w badania i rozwój technologii prowadzących do urzeczywistnienia syntezy jądrowej.

Kluczowe terminy

- **27 kwietnia 2025** – zakończenie przysyłania abstraktów,
- **2 czerwca 2025** – powiadomienia o akceptacji zgłoszenia i początek rejestracji,
- **25 czerwca 2025** – zakończenie rejestracji.

Lokalizacja wydarzenia

Konferencja odbędzie się w hotelu NYX (ul. Chmielna 71), położonym w samym sercu Warszawy. Dzięki dogodnej lokalizacji uczestnicy będą mogli łatwo odkrywać zarówno historyczne, jak i nowoczesne oblicze stolicy.

Oficjalna strona konferencji

Wszystkie informacje dotyczące wydarzenia znajdują się na stronie: plasma2025.ipplm.pl
Kontakt: plasma2025@ipplm.pl

Oficjalnym językiem konferencji jest język angielski.

Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy,
Warszawa



Fot. 1. Rollup na międzynarodową konferencję
(fot. IFPiLM)



UDZIAŁ POLSKIEGO SEKTORA KONSTRUKCJI STALOWYCH W REALIZACJI PPEJ

– SEMINARIUM TECHNICZNE
W JACHRANCE K/WARSZAWY

Uczestnictwo polskiego sektora konstrukcji stalowych w polskim programie energetyki jądrowej stanowi ważny element jego realizacji. Powyższa konstatacja w swojej treści jest oczywiście ze wszelkich miar merytorycznie słuszna. Trudno sobie wyobrazić urzeczywistnienie programu energetyki jądrowej w Polsce bez korzystania – także i w tym konkretnym zakresie specjalizacji – z usług firm polskich. Za takim zrozumieniem zagadnienia przemawia nasz interes gospodarczy, a zatem przesłanki, wynikające z możliwości progresu krajowego postępu technologicznego i posiadanego potencjału innowacyjnego.

Jednak już zakres tego uczestnictwa konkretnych polskich przedsiębiorstw oraz stworzenie możliwości efektywnego wykorzystania krajowego potencjału, w realizacji inwestycji z dziedziny energetyki jądrowej, powinien być przedmiotem ścisłych ustaleń pomiędzy inwestorem, a firmami wykonawczymi.

Z inicjatywy Polskiej Izby Konstrukcji (PIKS), w dniach 19-20 listopada 2024 r, w hotelu Windsor w Jachrance pod Warszawą, odbyło się seminarium techniczne pn. „Polska branża konstrukcji stalowych dla krajowego programu energetyki jądrowej”. Jego współorganizatorem (obok PIKS) było Ministerstwo Przemysłu.

Seminarium było adresowane przede wszystkim do firm – członków Polskiej Izby Konstrukcji Stalowych. W PIKS zrzeszonych jest obecnie 145 przedsiębiorstw. Są wśród nich, m.in. pracownice projektowe, wytwórnie konstrukcji stalowych, czy przedsiębiorstwa specjalizujące się w montażu.

Wśród licznie przybyłych na salę obrad uczestników konferencji nie zabrakło także przedstawicieli uczelni technicznych, jak też organizacji branżowych, jednostek certyfikujących i instytutów naukowych. Obecni byli także reprezentanci znanych w świecie firm specjalizujących się w dziedzinie energetyki jądrowej.

Seminarium otworzył prezes Zarządu Polskiej Izby Konstrukcji Stalowych (PIKS) Zbigniew Barłóg (METALBARK sp. z o.o. sp. k.), podkreślając, że w ostatnich latach – pomimo nie zawsze sprzyjającej koniunktury na rynku budowlanym, branża konstrukcji stanowi nowoczesną i innowacyjną dziedzinę polskiej gospodarki, z szybko rozwijającym się potencjałem wytwórczym.

Następnie głos zabrał Andrzej Sidło, przedstawiciel Ministerstwa Przemysłu, który w swoim wystąpieniu poinformował, że inwestycja budowy pierwszej



Fot. 1. Karol Skiba (Westinghouse Electric Poland sp. z o.o.), a na drugim planie Piotr Olszowski (moderator seminarium; fot. PIKS)

polskiej elektrowni jądrowej jest obecnie na etapie prac przygotowawczych i badań geologicznych. Analizując aktualne uwarunkowania wszystko wydaje się wskazywać, iż projekt budowy reaktora wodno-ciśnieniowego AP1000 o mocy netto 1000-1650 MWe, zainicjowany zostanie na placu budowy w latach 2026-2028. Po etapie niezbędnych prac przygotowawczych nastąpi wylanie pierwszego betonu pod budowę elektrowni jądrowej. Trzeba jednak mieć świadomość, że na ukończenie i włączenie do krajowego systemu elektroenergetycznego pierwszego polskiego bloku elektrowni jądrowej przyjdzie nam jednak poczekać przynajmniej do roku 2037.

Ważną informacją dla przedstawicieli firm uczestniczących w seminarium było potwierdzenie, że resort przemysłu zakłada zaangażowanie polskiego przemysłu w tej inwestycji na poziomie szacowanym na 40%, przy wyraźnej tendencji wzrostowej w kolejnych projektach.

W ocenie Ministerstwa Przemysłu takie założenie skali zaangażowania w Program polskiej energetyki jądrowej (PPEJ) firm krajowych wynika z reprezentowanego przez nich poziomu technicznego. Resort przemysłu na dziś zidentyfikował około 200 krajowych przedsiębiorstw, mogących rozpocząć działalność w szeroko rozumianej branży energetyki jądrowej, przy stosunkowo niewielkich działaniach przygotowawczych. Należy podkreślić, iż aktualnie sto polskich przedsiębiorstw posiada już referencje jądrowe.

W dalszej części seminarium skoncentrowano się na przedstawianiu informacji o współczesnych technologiach wykorzystywanych w energetyce jądrowej.

Każda firma – będąca dostawcą technologii dla przemysłu energetyki jądrowej musi zagwarantować

nader wyśrubowane standardy bezpieczeństwa i wysokie wymagania techniczne dla wszystkich prowadzonych prac i urządzeń. Na pytania o oczekiwaniach stawianych firmom, chcących wejść w skład łańcucha dostaw przy budowie elektrowni jądrowych odpowiadali Karol Skiba i Stacey Donahue, przedstawiciele Westinghouse Energy Systems.

Swoimi doświadczeniami w tym zakresie podzielili się też Rodolphe Jobard i Patrick Le Guen z francuskiego koncernu EDF Nuclear – aktualnie największego na świecie operatora elektrowni jądrowych.

Modułowe, zespolone stalowo-betonowe konstrukcje były przedmiotem prezentacji Andrzeja Redo i Michała Rucińskiego z firmy EGIS Poland.

Z kolei prezentacja Dominika Oleksiaka z GE Vernova Nuclear, dotyczyła małych reaktorów typu BWR 300. Przedstawiona tematyka spotkała się z dużym zainteresowaniem zebranych. Jak poinformował prelegent, kierownictwo firmy zakłada, że pierwsze reaktory BWR X-300 SMR powinny rozpocząć pracę w Kanadzie i USA nie później, niż do 2028 r.

W dalszej części seminarium swoje wystąpienia miały firmy członkowskie i partnerskie PIKS. O procesie inwestycyjnym, procedurze uzyskania decyzji środowiskowych i zezwoleniach na budowę informował Olgierd Sikora z firmy Energoprojekt Katowice S.A. Natomiast swoimi refleksjami na temat szans i zagrożeń dla polskich firm chcących współpracować przy projektach jądrowych podzielił się Grzegorz Cyborowski z firmy Mostostal Kraków S.A.

Warto nadmienić, że na przestrzeni minionych lat, krakowski Mostostal zdobył już duże doświadczenie w branży energetyki jądrowej, aktywnie uczestnicząc w realizacji inwestycji z tej dziedziny poza granicami Polski.

Mostostal Kraków S.A. jest jedną z kilkunastu firm, które zawarły już wstępne umowy o potencjalnej współpracy z zagranicznymi dostawcami technologii jądrowych. Dla tych przedsiębiorstw, które wejdą do łańcucha dostaw będzie to z pewnością realna szansa na intensyfikację międzynarodowych kontaktów i w efekcie podpisanie kontraktów oraz spore prawdopodobieństwo ciągłości otrzymywanych zamówień w skali wielu lat.

Uczestnicy seminarium zwrócili uwagę, iż wciąż należy mieć świadomość bardzo wysokiego progu wejścia w projekt jądrowy. Podkreślano, iż bez jednocześniej gwarancji udziału w nim, realizacja tak skomplikowanego przedsięwzięcia wymaga wielu lat aktywności. A także poczynienia znacznych i kosztownych inwestycji w sprzęt oraz dokonania niezbędnych zmian organizacyjnych w firmach. Tylko wtedy firmy te będą mogły prawidłowo realizować dostawy lub wykonywać prace na placu budowy elektrowni jądrowych.

Pierwszy dzień obrad seminarium zakończył się prezentacją Natalii Pauze i Macieja Chrzanowskiego z ArcelorMittal. Przedstawili oni słuchaczom rozwiązania Steligence, XCarb i Industeel dla przemysłu jądrowego. Filozofia ArcelorMittal obejmuje holistyczne podejście do swoich produktów zachowujące względy środowiskowe przy wysokiej jakości wyrobu. Industeel – jak zaznaczyli – jest w myśl powyższej filozofii rozwiązaniem, wychodzącym na przeciwko oczekiwań klienta, a zatem przygotowanym pod konkretne potrzeby odbiorcy.

Drugi dzień seminaryjnych obrad rozpoczął się od wystąpienia ekspertów z Górnośląskiego Instytutu Technologicznego (GIT). Najpierw Jacek Słania, kierownik Centrum Spawalnictwa GIT omówił ofertę GIT i możliwość współpracy Instytutu w ramach projektów



Fot. 2. Dyskusję kontynuowano też podczas przerwy lunchowej (fot. PIKS)

międzynarodowych. Następnie głos zabrał Jerzy Niegaj, specjalista w dziedzinie materiałów spawalniczych, wykorzystywanych w energetyce jądrowej, który wyczerpująco przedstawił problematykę wymogów jakościowych i bezpieczeństwa, dotyczących konstrukcji stalowych stosowanych w przemyśle jądrowym. Tę tematykę kontynuował Konrad Zasada z Urzędu Dozoru Technicznego (UDT), który w swoim wystąpieniu wypunktował zadania UDT, w związku z omawianą tematyką takie jak: weryfikacja wymogów stawianych wytwórcom, kontrola możliwości technicznych i zapewnienie jakości producentów; przegląd, weryfikacja i zatwierdzenie wszystkich dokumentów referencyjnych przed rozpoczęciem produkcji; nadzór nad budową i badania odbiorcze, a także badania okresowe i doraźne.

Merytoryczny program seminarium zakończyły wystąpienia Jarosława Jasińskiego z Narodowego Centrum Badań Jądrowych oraz Grzegorza Żmudy i Levgena Petrenko z firmy BECHTEL.

Wszystkie wystąpienia były przedmiotem ożywionej dyskusji. Wśród zabierających głos w debacie pojawiły się też obawy o udział krajowych firm w realizowanej inwestycji. Podnoszono również trudności wynikające m.in. z braku dostatecznej liczby ekspertów odpowiedzialnych za certyfikację i nadzór przyszłego obiektu jądrowego.

Przypomnijmy na zakończenie tej skrótowej relacji z niedawno odbytego seminarium technicznego, iż przed siedmiu laty odbyła się w Warszawie konferencja zorganizowana przez ówczesne Ministerstwo Energii pod hasłem „Promieniujemy na całą gospodarkę – Polski przemysł dla elektrowni jądrowych”.

Prof. Andrzej Strupczewski, skomentował tę konferencję następująco: na konferencji wykazano, że polski przemysł jest dobrze przygotowany do udziału w budowie polskich elektrowni jądrowych, a nakłady finansowe na budowę w większości pozostaną w kraju, przyczyniając się do rozwoju technologicznego i podniesienia konkurencyjności międzynarodowej polskich firm pracujących dla energetyki.

Dr Stanisław Latek – autor relacji z tejże konferencji opublikowanej na łamach „PTJ” (VOL. 60 Z.1/2017) skonstratował: zgadzam się z konkluzją prof. Strupczewskiego, ale dodam od siebie: dajmy nareszcie polskiemu przemysłowi pokazać, że umie budować elektrownie jądrowe... w Polsce.

I teraz przy okazji seminarium w Jachrance, należy stwierdzić, że bez wątpienia racja jest po stronie Stanisława Latka.

Po prostu, najwyższy już czas na pełną aktywizację polskiego przemysłu w proces budowy energetyki jądrowej w Polsce.

*Marek Bielski,
Przegląd Techniczny,
Warszawa*



PIERWSZY RESEARCH COORDINATION MEETING W RAMACH PROJEKTU MAEA MITIGATING GREENHOUSE GASES USING RADIATION TECHNOLOGY (F22080)

W dniach 10-14 marca 2025 r. w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) odbył się pierwszy Research Coordination Meeting w ramach projektu Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) F22080 „Mitigating Greenhouse Gases using Radiation Technology”. W spotkaniu uczestniczyło 9 przedstawicieli z 9 krajów członkowskich MAEA: Argentyny, Egiptu, Kazachstanu, Malezji, Polski, Korei Południowej, Tunezji, USA oraz Niemiec (on-line).



Fot. 1. Powitanie uczestników Research Coordination Meeting przez dyrektora IChTJ (fot. Sylwester Wojtas)

Z ramienia MAEA w spotkaniu uczestniczył dr Bum-Soo Han, Technical Officer of Radiochemistry and Radiation Technology Section MAEA. Kończąc tym samym swoją prawie ośmioletnią bardzo owocną pracę w tej organizacji, która przyniosła wiele ważnych działań na rzecz krajów członkowskich. Dyrektor IChTJ uhonorował Go kryształowym wazonem z wygrawerowanymi wyrazami wdzięczności.

Spotkanie poświęcone było możliwościom wykorzystania technologii radiacyjnych w celu przekształcenia gazów cieplarnianych w mniej szkodliwe związki oraz opracowania nowych materiałów pozwalających na wychwytywanie, przetwarzanie i składowanie gazów cieplarnianych.

W trakcie spotkania reprezentanci poszczególnych państw członkowskich przedstawili swoje dotychczasowe prace i osiągnięcia w zakresie wykorzystywania



Fot. 2. Prof. Andrzej Chmielewski przekazuje dr. BumSoo Han kryształowy wazon z wygrawerowanymi wyrazami wdzięczności (fot. Sylwester Wojtas)



Fot. 3. Dyrektor IChTJ wręcza pamiątkowy medal prof. Mohamad Al-Sheikhly (fot. Sylwester Wojtas)

technologii radiacyjnych w zastosowaniach środowiskowych, zwłaszcza dotyczących gazów cieplarnianych.

Przedstawili również plany swoich badań, które będą realizowane w ramach projektu MAEA w latach 2025-2029. Na tej podstawie dyskutowano o wyzwaniach i problemach w badaniach nad ograniczeniem zawartości gazów cieplarnianych w atmosferze, oraz możliwości współpracy pomiędzy uczestnikami projektu.

W trakcie spotkania uczestnicy mieli okazję zwiedzić IChTJ ze szczególnym uwzględnieniem Stacji Sterylizacji Wyrobów Medycznych i Przeszczepów oraz akceleratorów elektronów zainstalowane w Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych.

First Research Coordination Meeting under the IAEA project Mitigating Greenhouse Gases using Radiation Technology (F22080)

On March 10-14, 2025, the first Research Coordination Meeting was held at the Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT) as a part of the IAEA F22080 project "Mitigating Greenhouse Gases using Radiation Technology". The meeting was attended by 9 representatives from 9 IAEA Member States: Argentina, Egypt, Kazakhstan, Malaysia, Poland, South Korea, Tunisia, the USA and Germany (online). On behalf of the IAEA, the meeting was attended by Dr. BumSoo Han, Technical Officer of Radiochemistry and Radiation Technology Section IAEA. Thus ending his almost eight years of very fruitful work in this organization, which brought many important activities for the benefit of the MS. The director of INCT honored him with a crystal vase engraved with words of gratitude.

The meeting was devoted to the possibilities of using of radiation technologies to convert greenhouse gases into less harmful compounds and to develop new materials for the capture, processing and storage of greenhouse gases.

During the meeting, representatives of individual Member States presented their previous work and achievements in the use of radiation technologies in environmental applications, especially concerning greenhouse gases. They also presented their research plans, which will be carried out within the IAEA project in the years 2025-2029. On this basis, emerging needs and gap areas in research on reducing of the content of greenhouse gases in the atmosphere and possibilities of cooperation between project participants were discussed.

During the meeting, participants had the opportunity to visit INCT with particular emphasis on the Radiation Sterilization Station for Medical Devices and Allografts and electron accelerators installed in the Centre for Radiation Research and Technologies.

*dr Andrzej Pawelec,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*



BLUE DEAL CONGRESS: CHANGING THE FUTURE

To pierwsze w skali Polski tego rodzaju wydarzenie, poświęcone kluczowym wyzwaniom związanym z wdrażaniem kompleksowej strategii wodnej dla Europy. Kongres stanowił unikalną platformą dialogu o sposobach walki z narastającym problemem niedoboru wody. Polska należy niestety do państw o najmniejszych jej zasobach w Europie. Szacuje się, że wartość przedsięwzięć związanych z ochroną i efektywnym wykorzystaniem zasobów wodnych w Europie może wynieść nawet ponad 390 mld euro. Aby realizacja celów Blue Deal była efektywna, musi uwzględnić perspektywę licznych interesariuszy,

reprezentujących różnorodne sektory gospodarki, których zaproszono na kongres. W dyskusjach skoncentrowano się na trzech obszarach:

- dostęp do wody i geopolityka wody – ochrona czystości i przyspieszenie prac nad równym dostępem do wody na świecie;
- zrównoważona gospodarka wodna – ograniczenie zużycia wody oraz lepsze gospodarowanie wodą i ściekami przez gospodarstwa domowe, administrację publiczną, rolnictwo i przemysł, zwłaszcza wodochłonny;
- Ekonomia Niebieskiego Ładu dla UE – przeprowadzenie zrównoważonej, konkurencyjnej i sprawiedliwej „błękitnej transformacji” w Europie poprzez skoncentrowanie się na potrzebach inwestycyjnych. Biorąc pod uwagę związek między energią, wodą i surowcami krytycznymi, woda powinna być

postrzegana, jako podstawowy element strategii przemysłowej UE. UE musi wspierać rozwój technologii umożliwiających oszczędne gospodarowanie wodą, recykling i redukcję zanieczyszczeń, a także ich stopniowe wdrażanie w rolnictwie, przemyśle i gospodarstwach domowych. Swoją rolę w tym zakresie mają również technologie radiacyjne. W kontekście tytułu konferencji można zauważyć, że woda staje się tak naprawdę niebieska dopiero w wyniku radiolizy. Pasma absorpcji uwodnionego elektronu przypada w zakresie widzialnym z maximum około 700 nm (czerwony). W związku z tym roztwór zawierający elektrony uwodnione powinien mieć barwę dopełniającą – niebieską.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



JAK OGRANICZYĆ MARNOWANIE ŻYWNOŚCI?

Unia Europejska jest jednym z największych producentów mięsa drobiowego na świecie i eksporterem netto przetworów drobiowych. Roczna produkcja wynosi około 13,4 mln ton. W siedzibie Polskiej Agencji Prasowej (PAP) w Warszawie odbyła się debata nt. „Ograniczenia marnowania żywności, jako elementu zrównoważonej produkcji drobiarskiej”. W spotkaniu wzięli udział Dariusz Goszczyński (prezes Krajowej Rady Drobiarstwa – Izby Gospodarczej) oraz Łukasz Dominiak (dyrektor ds. public i government relations Animex Foods). Zwrócono uwagę, że produkcja drobiu odgrywa kluczową rolę w rozwiązaniu jednego z największych wyzwań współczesnego świata, jakim jest marnowanie żywności. W samej Unii Europejskiej w 2020 r. wygenerowano prawie 59 mln ton żywnościowych odpadów, co odpowiada około 131 kg na osobę.

Na marginesie tej dyskusji warto zwrócić uwagę na istotny element polityki ograniczenia marnowania żywności, jakim jest jej utrwalanie. Mięso drobiowe i jaja zostały uznane za główne źródła zakażeń przenoszonych przez żywność. Duża część surowych produktów może być zanieczyszczona patogenami, takimi jak Salmonella i Campylobacter. Jednym ze skutecznych sposobów zapewnienia bezpieczeństwa mikrobiologicznego jest radiacyjna higienizacja. Z tych powodów radiolizę mięsa drobiowego i innych wyrobów spożywczych badano już na początku lat 60. Wykazano, że niewielkie zmiany chemiczne powodowane działaniem promieniowania jonizującego są wystarczające do zwalczania patogenów i insektów również w procesach utrwalania żywności oraz ziół, przypraw



Fot. 1. Symbol Radura, do oznaczania żywności napromieniowanej (wersja amerykańska, używana przez Agencję Żywności i Leków (Food and Drug Administration – FDA; międzynarodowa jest nieco inna; <https://pl.wikipedia.org/wiki/Radura>)

ziołowych, suszonych grzybów oraz suplementów diety. Unikatowość technologii radiacyjnych polega na tym, że zabiegi konserwacji można prowadzić w krótkim czasie, dowolnej temperaturze, całej objętości materiału, szczelnym opakowaniu jednostkowym i kartonie zbiorczym. W większości przypadków nie można zaobserwować metodami sensorycznymi zmian właściwości wyrobów po procesie obróbki radiacyjnej. Jednak nadal jest ona stosowana w ograniczonym zakresie. Przyczyny mają głównie charakter psychologiczny, a najsłabszym punktem jest sama nazwa metody. Napromieniowanie niesłusznie kojarzy się bowiem z radioaktywnością. Powoduje to niski poziom akceptacji w ankietach i pewną polityczną presję ze strony niektórych grup konsumenckich i ruchów antynuklearnych. W związku z tym rządy i/lub agencje regulacyjne mają tendencję do nadmiernej ostrożności i ograniczania

zezwoleń na stosowanie napromieniowania żywności. Ponadto ekonomia procesu w dużym stopniu zależy od skali jego zastosowania i możliwości eksportu produktów. W takich okolicznościach nic dziwnego, że przemysł spożywczy nie wykorzystuje dostępnych opcji radiacyjnej obróbki żywności. Paradoksalnie mimo wielu lat pozytywnych, naukowych doświadczeń technologii radiacyjnej konserwacji mają w naszym kraju nadal charakter pionierski.

W Unii Europejskiej tylko jedna kategoria produktów spożywczych może być obecnie napromieniowywana. Są to suszone zioła aromatyczne, przyprawy

i przyprawy warzywne. Polskie przepisy zezwalają dodatkowo na napromieniowanie ziemniaków, cebuli, czosnku, świeżych i suszonych grzybów oraz suszonych warzyw. Przykładowo w Wielkiej Brytanii można radiacyjnie konserwować: owoce, warzywa, zboża, cebulę i bulwy, przyprawy i dodatki, ryby i skorupiaki oraz drób. Międzynarodowym symbolem oznaczającym napromieniowanie żywności jest Radura (fot. 1.).

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



POLSKIE NOBLE 2024

4 grudnia 2024 r. na Zamku Królewskim w Warszawie odbyła się już po raz 33. uroczystość wręczenia nagród Fundacji na rzecz Nauki Polskiej (FNP), uznawanych za najważniejsze wyróżnienie naukowe w Polsce. Są to nagrody indywidualne, przyznawane w drodze konkursu w czterech obszarach: nauk o życiu i o Ziemi, nauk chemicznych i o materiałach, nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich oraz nauk humanistycznych i społecznych. Kandydatów do konkursu nominują przedstawiciele środowiska naukowego. Wyboru laureatów dokonuje Rada FNP, na podstawie opinii niezależnych, głównie zagranicznych recenzentów i ekspertów oceniających dorobek kandydatów. Grono wszystkich laureatów liczy obecnie 121 osób.

W roku 2024 nagrodzeni zostali:

- W obszarze nauk o życiu i o Ziemi dr hab. Sebastian Glatt z Małopolskiego Centrum Biotechnologii Uniwersytetu Jagiellońskiego za ustalenie struktury

i funkcji kompleksu Elongator wpływającego na poprawność biosyntezy białka.

- W obszarze nauk chemicznych i o materiałach prof. dr hab. inż. Janusz Lewiński z Wydziału Chemicznego Politechniki Warszawskiej i Instytutu Chemii Fizycznej PAN za opracowanie mechanochemicznych metod syntezy perowskitów poprawiających ich właściwości fotowoltaiczne.
- W obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich prof. dr hab. Krzysztof Sacha z Instytutu Fizyki Teoretycznej Uniwersytetu Jagiellońskiego za sformułowanie teorii kryształów czasowych.
- W obszarze nauk humanistycznych i społecznych prof. dr hab. Marcin Wodziński z Katedry Judaistyki Uniwersytetu Wrocławskiego za nowatorskie studia nad chasydyzmem wyjaśniające rolę kultury, polityki i geografii w kształtowaniu tożsamości religijnych i relacji międzyetnicznych.

W uroczystości wzięli udział przedstawiciele władz państwowych, naukowych, środowiska naukowego oraz rodziny, współpracownicy i przyjaciele laureatów. Swoją obecnością uroczystość uświetniła Małgorzata Kidawa-Błońska – Marszałek Senatu RP. Fundacja na rzecz Nauki Polskiej istnieje od 1991 r. i jest niezależną, samofinansującą się instytucją pozarządową typu non-profit, która realizuje misję wspierania nauki. Jest największym w Polsce pozabudżetowym źródłem finansowania nauki. Do statutowych celów FNP należą: wspieranie wybitnych naukowców i zespołów badawczych oraz działanie na rzecz transferu osiągnięć naukowych do praktyki gospodarczej. Fundacja realizuje je poprzez przyznawanie indywidualnych nagród i stypendiów dla naukowców, przyznawanie subwencji na wdrażanie osiągnięć naukowych do praktyki gospodarczej, inne formy wspierania ważnych przedsięwzięć służących nauce (jak np.: programy wydawnicze, konferencje). Fundacja angażuje się także we wspieranie międzynarodowej współpracy naukowej oraz zwiększanie samodzielności naukowej młodego pokolenia uczonych.



Fot. 1. Od lewej: prof. Maciej Żylicz, prezes FNP, dr hab. Sebastian Glatt, prof. Krzysztof Sacha, prof. Marcin Wodziński, prof. Grażyna Jurkowlaniec, przewodnicząca Rady FNP, prof. Janusz Lewiński. (fot. Paweł Kula/archiwum FNP)

Badania prowadzone przez prof. Janusza Lewińskiego mają multidyscyplinarny charakter. Perowskity metalohalogenkowe (MHP) to materiały o ogólnym wzorze chemicznym ABX_3 , wykazujące regularną budowę sieci krystalicznej i będące strukturalnymi analogami naturalnie występujących minerałów perowskitowych. Unikalne właściwości fizykochemiczne MHP, takie jak wysoki współczynnik absorpcji światła czy możliwość modulowania ich właściwości w pożądanym kierunku poprzez kontrolowane zdefektowanie ich sieci krystalicznej, sprawiły, że w ostatniej dekadzie MHP stały się jedną z najintensywniej rozwijanych grup półprzewodników. Głównym motorem rozwoju chemii MHP było ich wykorzystanie w perowskitowych ogniwach fotowoltaicznych (PSC), które przez wielu naukowców uważane są wręcz za najważniejsze osiągnięcie w dziedzinie fotowoltaiki od czasu wynalezienia ogniw krzemowych. Fotowoltaika perowskitowa oferuje bowiem możliwość stosowania ogniw, które są nie tylko wydajne i tanie w sposobie wytwarzania, ale także lekkie, cienkie i elastyczne. Jednak zastosowanie samych materiałów perowskitowych jest dużo szersze i obejmuje także m.in. fotokatalizę, diody elektroluminescencyjne (LED) czy detektory promieniowania jonizującego. Mimo ciągle niedoskonałych parametrów związanych z ich trwałością, w ciągu ostatniej dekady organiczne i nieorganiczne perowskity metalohalogenkowe całkowicie zmieniły krajobraz półprzewodników optoelektronicznych przeznaczonych do różnych zastosowań fotowoltaicznych i optoelektronicznych. MHP są zwykle wytwarzane w laboratoriach za pomocą klasycznych metod mokrej chemii, które wymagają stosowania rozpuszczalników organicznych. Podejście to wiąże się jednak z istotnymi problemami, w tym związanymi z wytwarzaniem ograniczonej palety MHP wynikającej z braku możliwości stosowania substratów nierozpuszczalnych, a także niestabilnością otrzymanych dyspersji koloidalnych. Prof. Janusz Lewiński wraz z zespołem zaproponował alternatywne, pionierskie podejście, w którym MHP są syntetyzowane w prosty i wydajny sposób przy użyciu bezrozpuszczalnikowej metody mechanochemicznej, czyli poprzez bezpośrednią, indukowaną energię mechaniczną, reakcję substratów w formie stałej. Takie podejście zapewnia większą powtarzalność procesu syntezy i możliwość użycia większej liczby substratów, a tym samym możliwość otrzymania perowskitów nieosiągalnych w procesie mokrej chemii. Ponadto otrzymane mechanochemicznie materiały perowskitowe (tzw. mechanoperowskity) są wysoce trwałe w atmosferze obojętnej.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



ANALIZA CHEMICZNA W OCHRONIE ZABYTKÓW – ACHWOZ'XXIV

W dniach 28-29 listopada 2024 r. w gmachu Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych Uniwersytetu Warszawskiego odbyła się XXIV konferencja „Analiza Chemiczna w Ochronie Zabytków”. Tradycyjnie wydarzenie zainaugurowały wykłady zaproszonych gości. Dwa interesujące wystąpienia w dużej części dotyczyły wyników badań uzyskanych za pomocą nieniszczących technik nuklearnych, czyli metod analitycznych wykorzystujących promieniowanie jonizujące. Pierwszą prezentację zatytułowaną „Badania papieru w manuskryptach królewskiej kolekcji Drangsong z Lo Monthang w Górnym Mustangu w Nepalu” przedstawiła prof. Agnieszka Helman-Ważny z Wydziału Dziennikarstwa, Informacji i Bibliologii Uniwersytetu Warszawskiego oraz Centre for the Study of Manuscript Cultures w Hamburgu. Analizie poddano wyjątkowe odkrycie archeologiczne, jakim jest kolekcja manuskryptów (22 tomy) z jaskiń Mardzong. Oznaczenia radiowęglowe pokazały, że czasy powstania poszczególnych tomów są różne (XIII-XV w.). Tak, więc historia ich powstania jest bardziej skomplikowana, niż początkowo zakładano. W badaniach wykorzystano wielomianowe mapy tekstury (Polynomial Texture Maps, PTM). Jest to nazwa nowej metody fotografii technicznej, służącej do dokumentacji i analizy obiektów posiadających teksturę (używa się również terminu obrazowanie z przekształceniem odbicia – Reflectance Transformation Imaging (RTI)). Technika PTM pozwala uwidocznąć w sposób nieosiągalny innymi metodami wszelkie elementy (tak wypukłości, jak i wgłębienia) znajdujące się na powierzchni płaskich lub lekko zakrzywionych obiektów. Do analiz papieru stosowano również fluorescencję rentgenowską oraz spektrometrię mas.

Kolejny wykład wygłosiła prof. Chiara Mazzocchi z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, która mówiła o zastosowaniu tomografii rentgenowskiej w konserwacji modlitewnika Marii Stuart – „The art of bookbinding: micro-CT analysis of book structures — the case of Mary Stuart's prayer book”. Przykład ten pokazuje, że konserwacja dziedzictwa kulturowego opiera się w coraz większym stopniu na nieinwazyjnych jądrowych technikach analitycznych. Ma to fundamentalne znaczenie dla ratowania unikatowych obiektów o dużym znaczeniu historycznym i/lub artystycznym. W tym przypadku, aby zbadać strukturę oprawy książki, której nie można było łatwo otworzyć, należało rozebrać okładkę.

Alternatywną metodą, która pomogła zrozumieć strukturę oprawy, było obrazowanie za pomocą promieniowania X. Należy podkreślić, że dawki pochłonięte promieniowania w mikrotomografii komputerowej są tak niewielkie, że nie powodują zmian właściwości papieru. Badanie powtórzono po konserwacji w celu porównania i walidacji przyjętej metodologii. We wstępnym badaniu w Instytucie Kardiologii w Aninie w Warszawie wykorzystano skanery klasy medycznej o rozdzielczości 200 i 400 μm . Następnie wykonano analizę mikro-CT (woksele 40 μm) na Politechnice Warszawskiej, która ujawniła dalsze wskazówki ukryte głębiej w kręgosłupie oprawy. Dzięki tej procedurze udało się odkręcić nic używaną do szycia i znaleźć wskazówki pokazujące oryginalne i późniejsze wiązanie.

Drugiego dnia wygłoszono wykłady sekcyjne oraz odbyła się sesja posterowa.

Podsumowując można stwierdzić, że obrazowanie TK (tomografia komputerowa), w którym wykorzystuje się komputery i promieniowanie rentgenowskie staje się obecnie rutynowym narzędziem konserwatorów dzieł sztuki. W badaniach tych stosuje

się często urządzenia medyczne, które standardowo pozyskują szczegółowe obrazy trójwymiarowe przedstawiające wnętrza ciała. Podobnie fluorescencyjna spektrometria rentgenowska (XRF) jest obecnie jedną z najchętniej stosowanych, metod instrumentalnych w badaniach składu pierwiastkowego historycznych ciał stałych. Warto dodać, że bezpieczne wykorzystanie jądrowych urządzeń analitycznych wymaga kontroli ze strony inspektorów ochrony radiologicznej. Stowarzyszenie Inspektorów Ochrony Radiologicznej organizuje przy udziale Państwowej Agencji Atomistyki warsztaty na temat „Ochrony radiologicznej w nuklearnych technikach identyfikacji i konserwacji dzieł sztuki”.

Więcej informacji znajduje się na stronie konferencji <http://analizazabytkow.pl/>. Organizatorzy zapraszają do udziału w kolejnej jubileuszowej XXV konferencji, która odbędzie się pod koniec 2025 r.

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



PALIWA TERMOJĄDROWE WYKRYTE PODCZAS DEMONSTRACJI LASERA NA JET

Naukowcy i inżynierowie z ośmiu krajów, w tym z Polski, z powodzeniem zademonstrowali zastosowanie laserów na tokamaku Joint European Torus (JET), udowadniając, że jest to opłacalna technologia pomiaru retencji paliwa termojądrowego w przyszłych urządzeniach fuzyjnych.

Spektroskopia rozkładu indukowanego laserem (LIBS) to technika analityczna wykorzystująca laser o dużej mocy do pomiaru składu materiału. Jej wdrożenie odbyło się przy użyciu zdalnie sterowanego systemu robotyki na JET.

Wstępne wyniki wskazały na pomyślne wykorzystanie systemu LIBS, ponieważ na skierowanych w stronę plazmy elementach tokamaka wykryto izotopy wodoru z mieszanki paliwowej deuteru i trytu.

JET zapewnia idealne inżynierskie i diagnostyczne stanowisko testowe do opracowywania technologii zarządzania zapasami trytu w przyszłych elektrowniach.

„Eksperyment był ukoronowaniem prowadzonych od kilkunastu lat wysiłków nad stworzeniem metody pomiaru retencji paliwa oraz akumulacji zanieczyszczeń w ścianach reaktorów termojądrowych takich jak ITER. W badaniach tych Instytut Fizyki Plazmy i Lasero-wej Mikrosyntezy od początku odgrywał ważną rolę,

która teraz skupi się na opracowaniu modeli sztucznej inteligencji w celu analizy pomiarów LIBS w czasie rzeczywistym. Ze względu na liczne niewiadome związane z funkcjonowaniem przyszłych elektrowni fuzyjnych jest to na pewno duże wyzwanie, lecz kiedy ponad dekadę temu zaczęliśmy pracę z LIBS, sukcesy osiągnięte teraz na JET wydawały się nie mniejszym” – powiedział dr Paweł Gąsior z Zakładu Badań Plazmy Termojądrowej w IFPiLM, podkreślając znaczenie tych badań dla przyszłości energetyki fuzyjnej.

W międzynarodowej współpracy oprócz Polskich naukowców udział wzięły także zespoły badawcze z Finlandii, Niemiec, Włoch, Estonii, Łotwy, Słowacji i Wielkiej Brytanii. Kraje te należą do EUROfusion, konsorcjum zaangażowanego w badania i rozwój energii termojądrowej.

Partnerami projektu są:

- ENEA, Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development (Włochy),
- Forschungszentrum Jülich (Niemcy),
- VTT Technical Research Centre of Finland Ltd,
- United Kingdom Atomic Energy Authority.

Prace są wspierane przez:

- Comenius University of Bratislava (Słowacja),
- Instytut Fizyki Plazmy i Lasero-wej Mikrosyntezy, IFPiLM (Polska),
- Institute of Solid State Physics, University of Latvia,
- University of Tartu (Estonia).

Jak działa technologia LIBS

Jari Likonen, główny naukowiec w Fińskim Centrum Badań Technicznych, wyjaśnił: „LIBS działa poprzez szybkie wystrzeliwanie wiązki lasera na powierzchnię płytki lub elementu. Generuje to małą plazmę zawierającą atomy, jony i wolne elektrony, które emitują światło, które z kolei jest mierzone za pomocą spektrometru”.

Technologia LIBS jest już szeroko stosowana w sektorach przemysłu stanowiących wyzwanie dla człowieka i wymagających szybkiej i kompleksowej analizy chemicznej na poziomie atomowym. Jej zastosowania obejmują analizę geologiczną w eksploracji kosmosu, diagnostykę artefaktów archeologicznych oraz badanie dyfuzji metali w słonecznych ogniwach fotowoltaicznych.

Na potrzeby wdrożenia tej technologii na JET wprowadzono modyfikacje w celu jej dostosowania do panującego w urządzeniu środowiska w kształcie pierścienia pod ciśnieniem. Salvatore Almagia, badacz ds. metrologii laserowej w ENEA, Włoskiej Narodowej Agencji Nowych Technologii, Energii i Zrównoważonego Rozwoju Gospodarczego, powiedział: „Powstała technologia jest zwarta, lekka, niezawodna i solidna na tyle, by umożliwić wykonanie setek pomiarów na JET”.

Czujnik LIBS zamontowano na MASCOT, zdalnie sterowanym systemie robotycznym JET zaprojektowanym do zadań konserwacyjnych, naprawczych i diagnostycznych w środowisku radioaktywnym. Almagia dodał: „Za pomocą jednego strzału lasera czujnik może wykryć wszystkie pierwiastki chemiczne obecne w analizowanej płytce lub elemencie oraz w ograniczony sposób ich izotopy”.

Rahul Rayaprolu, z Forschungszentrum Jülich (FZJ) w Niemczech, omówił proces gromadzenia danych: „Jednostka LIBS przenosi zebrane światło przez 20-metrowy światłowód do czterech spektrometrów o wysokiej rozdzielczości w celu analizy widmowej. Jeden spektrometr zapewnia szczegółowy wgląd w zatrzymane paliwo, podczas gdy kompaktowy spektrometr o dużej rozdzielczości jednocześnie przechwytuje i rejestruje ogólny przegląd widma”.

Ionut Jepu, naukowiec zajmujący się badaniami materiałowymi w brytyjskim Urzędzie Energii Atomowej, podkreślił znaczenie tego urządzenia: „JET oferuje doskonałe stanowisko testowe. W następstwie niedawnych eksperymentów z deuterem i trytem możemy dokonać ważnych pomiarów trytu w płytkach i komponentach, zmniejszając jednocześnie zagrożenie dla ludzi i minimalizując potencjalny czas przestoju”.

Ponad 800 lokalizacji we wnętrzu JET poddano działaniu systemu LIBS. Wyniki zostaną zaprezentowane podczas konferencji – 20th International Conference on Plasma-Facing Materials and Components for Fusion Applications – która odbędzie się w maju 2025 r. w Słowenii.

Wspólny wysiłek wskazuje na potencjał przyszłych inicjatyw w zakresie projektowania, bezpieczeństwa i wydajności operacyjnej technologii zastosowanych w przyszłych urządzeniach fuzyjnych i stanowi bazę do usprawnienia zarządzania retencją paliwa.

*EUROfusion – European Consortium
for the Development of Fusion Energy,*

*Ewa Nowacka,
Instytut Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy,
Warszawa*



PLAN URUCHAMIANIA THREE MILE ISLAND – AMERYKAŃSKIEJ ELEKTROWNI JĄDROWEJ

Three Mile Island jest to druga elektrownia jądrowa (po elektrowni Palisades), którą próbują Amerykanie przywrócić do eksploatacji. Microsoft i Constellation Energy 20 września 2024 r. ogłosiły 20-letnią umowę zakupu energii (Power Purchase Agreement – PPA) dla elektrowni jądrowej Three Mile Island, która będzie dostarczać energię do centrów danych Microsoft. Ta umowa wymaga ponownego uruchomienia bloku elektrowni jądrowej.

Obiekt Three Mile Island znajduje się w amerykańskim stanie Pensylwania na wyspie, przy rzece

Susquehanna, w pobliżu stolicy stanu w Harrisburg. Obiekt ma dwa bloki elektrowni jądrowej:

- pierwszy blok (TMI-1) działał do 2019 r.,
- drugi blok (TMI-2) został zamknięty po stopieniu rdzenia reaktora w 1979 r.

Constellation Energy ponownie uruchomi tylko blok pierwszy TMI-1, natomiast nie zamierza uruchomić bloku drugiego TMI-2. TMI-1 to reaktor jądrowy o mocy 880 MWe wykorzystujący projekt reaktora Babcock & Wilcox, który rozpoczął komercyjną eksploatację we wrześniu 1974 r. Zanim jego pierwotna 40-letnia licencja operacyjna wygasła w 2014 r., amerykańska Komisja Dozoru Jądrowego (Nuclear Regulatory Commission – NRC) wydała 20-letnią licencję operacyjną, pozwalając operatorowi pierwszego bloku TMI-1 na eksploatację do 2034 r. Jednak Exelon Generation zamknęła ten reaktor w 2019 r., ponieważ elektrownia ta przynosiła stratę finansową. Po zamknięciu bloku pierwszego TMI-1 zaplanowano jego

wycofanie z eksploatacji stosując metodę Safe Enclosure (SAFSTOR).

Niektóre stany w USA (np. Illinois, New Jersey i Nowy Jork) wdrożyły program pod nazwą „Kredyt zerowej emisji” (Zero-Emission Credit – ZEC), aby pomóc elektrowniom jądrowym, które borykały się z problemami ekonomicznymi podobnymi do tych w elektrowni TMI-1, utrzymać je w działaniu. Pensylwania zdecydowała się nie wdrażać płatności ZEC, a blok pierwszy TMI-1 został zamknięty. Firma Constellation spodziewa się, że elektrownia jądrowa TMI-1 powróci do komercyjnej eksploatacji do 2028 r. z 20-letnią licencją operacyjną.

Ponowne uruchomienie elektrowni TMI-1 to skomplikowany proces, który zajmie kilka lat.

Dlaczego zamierza się ponownie uruchomić elektrownię jądrową TMI-1?

Dążenie do ponownego uruchomienia bloku TMI-1 i innych zamkniętych elektrowni jądrowych ma dwa główne powody. Po pierwsze, energia jądrowa jest dużym źródłem energii elektrycznej bezemisyjnej, podczas gdy redukcja emisji dwutlenku węgla jest bardzo ważna i pilna. Po drugie, zapotrzebowanie na energię elektryczną rośnie, co powoduje potrzebę niezawodnej, ciągłej energii elektrycznej w celu wsparcia stabilności sieci. Blok pierwszy TMI-1 został zamknięty w 2019 r., ponieważ rynek energii elektrycznej hurtowej nie docenił niektórych ważnych atrybutów elektrowni jądrowych. Inne elektrownie jądrowe w USA również zostały zamknięte z powodu braku oceny tych atrybutów. Propozycja ponownego uruchomienia bloku TMI-1 odzwierciedla nowe uznanie wartości atrybutów energii jądrowej, w tym czystej energii elektrycznej, niezawodnej pracy, ważnych usług sieciowych i długoterminowej wartości aktywów.

Ponowne uruchomienie zamkniętych elektrowni jądrowych

Ponieważ projekty i warunki rynku energii elektrycznej nie rekompensowały w pełni atrybutów elektrowni jądrowych, kilka amerykańskich elektrowni jądrowych, takich jak blok TMI-1, zostało zamkniętych przedwcześnie z przyczyn ekonomicznych. W tym czasie właściciele bezskutecznie poszukiwali różnych podejść w celu zwiększenia przychodów (np. długoterminowej umowy zakupu energii).

Bez możliwości przywrócenia rentowności właściciele tych elektrowni mieli tylko dwie realistyczne opcje:

- kontynuować działalność przynosząc straty finansowe przez lata lub dziesiątki lat w nadziei, że wartość energii jądrowej ostatecznie wzrośnie i elektrownia powróci do rentowności, lub
- zamknąć elektrownię przedwcześnie, aby zatrzymać straty finansowe.

Długoterminowa wartość aktywów

Ponowne uruchomienie elektrowni jądrowych odzwierciedla nowe uznanie długoterminowej wartości aktywów energii jądrowej, przy czym elektrownie jądrowe takie jak TMI-1 są w stanie działać przez dziesięciolecia. Obecna flota działających elektrowni jądrowych może pracować niezawodnie i bezpiecznie przez dziesiątki lat po ich pierwotnym 40-letnim okresie eksploatacji. Prawie wszystkie działające w USA reaktory jądrowe, w tym TMI-1, odnowiły swoją pierwotną 40-letnią licencję operacyjną wydaną przez organ dozoru jądrowego NRC na dodatkowe 20 lat (tj. 60 lat eksploatacji komercyjnej). Niektóre reaktory w USA już złożyły wniosek i otrzymały zgodę dozoru jądrowego NRC na eksploatację przez następne 20 lat (tj. łącznie 80 lat eksploatacji), a większość pozostałych elektrowni jądrowych w USA prawdopodobnie złoży wniosek o takie odnowienie licencji.

Większość nowych elektrowni jądrowych jest zaprojektowana do eksploatacji przez 60 do 100 lat. Wartość elektrowni jądrowej po około 20 latach eksploatacji komercyjnej jest przedstawiona w różnych obliczeniach uśrednionego kosztu energii elektrycznej (Levelized Cost of Electricity – LCOE) wykazujących, że dalsza eksploatacja istniejącej, działającej elektrowni jądrowej jest tańsza niż większość innych opcji. Długoterminowa eksploatacja istniejących reaktorów jądrowych będzie miała zasadnicze znaczenie dla utrzymania celów dekarbonizacji przez następną dekadę.

Co jest potrzebne do ponownego uruchomienia?

Praca potrzebna do ponownego uruchomienia zamkniętej elektrowni jądrowej (tj. takiej, w której licencja na eksploatację już nie jest ważna) zależy od strategii wycofywania z eksploatacji elektrowni i innych czynników. Niektóre elektrownie jądrowe w USA używały trybu natychmiastowej dekontaminacji i likwidacji, podczas gdy inne używały trybu o nazwie SAFSTOR. W trybie SAFSTOR zamknięta elektrownia jądrowa jest konserwowana i monitorowana przez dziesięciolecia, aby umożliwić rozpad radioaktywny, po czym elektrownia jest demontowana. W ramach podejścia SAFSTOR zamknięta elektrownia jądrowa pozostaje w dużej mierze nienaruszona przez lata, więc jej ponowne uruchomienie może wymagać mniej pracy w porównaniu do elektrowni, która rozpoczęła działania związane z likwidacją. Ponowne uruchomienie zamkniętej elektrowni jądrowej będzie wymagało odnowienia lub wymiany podzespołów, zwłaszcza jeśli te podzespoły zostały odroczone w konserwacji pod koniec eksploatacji elektrowni. Jeśli zamknięta elektrownia jądrowa rozpoczęła działania związane z likwidacją i demontażem, konieczne będzie odwrócenie tych działań. Kiedy elektrownia jądrowa

zostanie zamknięta, wypalone paliwo jądrowe w basenie do przechowywania tego paliwa zostanie przeniesione do specjalnych pojemników w celu suchego przechowywania. Ponowne uruchomienie będzie wymagało przywrócenia do pełnej funkcjonalności basenu na wypalone paliwo jądrowe w celu użytkowania po wznowieniu działalności komercyjnej. Ponowne uruchomienie będzie wymagało rekrutacji i przeszkolenia personelu w celu odnowienia uprawnień i prowadzenia tych elektrowni. Operatorzy elektrowni jądrowych muszą być wysoce wyszkoleni i posiadać uprawnienia NRC dla swojej konkretnej elektrowni, co wiąże się z obszernymi szkoleniami i ćwiczeniami symulacyjnymi. Ponowne uruchomienie tych elektrowni jądrowych będzie wymagało wykwalifikowanej grupy techników, takich jak spawacze i elektrycy posiadający certyfikacje związane z energetyką jądrową.

Podsumowując, ponowne uruchomienie elektrowni jądrowych, przedłużenie żywotności istniejących elektrowni jądrowych i rozwój nowych elektrowni jądrowych są wykonalne. Jednak będzie to możliwe tylko tam i wtedy, gdy istnieje szeroka i silna, długoterminowa, niezawodna wola polityczna, publiczna i administracyjno/regulacyjna, aby wspierać energię jądrową.

opracował: Krzysztof Madaj,
na podstawie materiału w:
International Journal for Nuclear atw Vol. 70 (2025)
z dnia 30.01.2025 r. pt. „Restarting Three Mile
Island, a US nuclear power plant that closed for
decommissioning”



ROLA POLSKI W NAUCE

W dniu 11 marca 2025 r. w ośrodku Joint Research Centre w Karlsruhe odbyło się prestiżowe wydarzenie w ramach Polskiej Prezydencji w Radzie UE, poświęcone roli Polski w nauce oraz wzmacnianiu współpracy badawczej w Europie. W spotkaniu uczestniczyły wybitne polskie naukowczynie, prof. Ewa Bulska (z Uniwersytetu Warszawskiego), prof. Agnieszka Pollo (z Narodowego Centrum Badań Jądrowych) oraz prof. Agnieszka Majkowska-Pilip reprezentująca Instytut Chemii i Techniki Jądrowej.

W centrum dyskusji znalazły się kluczowe zagadnienia:

Kobiety w nauce – podkreślono wkład polskich badaczek w rozwój światowej nauki. W panelu eksperckim wystąpiły prof. Ewa Bulska, prof. Agnieszka Pollo oraz prof. Agnieszka Majkowska-Pilip, które podzieliły się swoimi doświadczeniami i wyzwaniem związanym z pracą w sektorze naukowym.

Współpraca badawcza – omówiono kluczowe aspekty wspólnych projektów naukowych oraz ich znaczenie dla rozwiązywania globalnych problemów, ze szczególnym uwzględnieniem roli Polski w inicjatywach unijnych.

Polska w naukach jądrowych – podkreślono wkład Polski w rozwój technologii jądrowych, w tym medycyny nuklearnej, bezpieczeństwa jądrowego i małych reaktorów modułowych (SMR).



Fot. 1. Polskie badaczki na wydarzeniu w ramach Polskiej Prezydencji w Radzie UE (fot. JRC)

Prof. Agnieszka Majkowska-Pilip zaprezentowała osiągnięcia IChTJ w obszarze syntezy innowacyjnych radiofarmaceutyków (we współpracy z JRC Karlsruhe) i ich zastosowania w nowoczesnych terapiach onkologicznych.

Wydarzenie to potwierdziło, że Polska odgrywa istotną rolę w rozwoju europejskiej nauki. Instytut Chemii i Techniki Jądrowej z dużym zaangażowaniem uczestniczy w międzynarodowych projektach, przyczyniając się do innowacji oraz dalszego rozwoju badań nad zastosowaniami energii jądrowej.

prof. Agnieszka Majkowska-Pilip,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



XVIII SZKOŁA STERYLIZACJI I MIKROBIOLOGICZNEJ DEKONTAMINACJI RADIACYJNEJ

Warszawa, 16-17 października 2025 r.

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (IChTJ) w Warszawie organizuje w dniach 16-17 października 2025 r. XVIII Szkołę Sterylizacji i Mikrobiologicznej Dekontaminacji Radiacyjnej. Tradycyjnie intencją podejmowanych działań jest przekazywanie producentom i użytkownikom wyrobów medycznych oraz materiałów wymagających wyjaławiania, obiektywnych informacji na temat sterylizacji radiacyjnej i jej zastosowań. Umożliwi to wielu wytwórcom prawidłowy wybór metody wyjaławiania w zależności od rodzaju wyrobu, a także upowszechni wiedzę na temat sterylizacji radiacyjnej w świetle wymogów Unii Europejskiej. W IChTJ działa jedyna w kraju przemysłowa Stacja Sterylizacji Radiacyjnej Wyrobów Medycznych i Przeszczepów (SSR), świadcząca usługi dla ponad 60 firm wytwarzających wyroby medyczne, produkty lecznicze, produkty kosmetyczne i inne. Stacja posiada Certyfikat Systemu Zarządzania Jakością (PN-EN ISO 13485:2016) w zakresie projektowania i przeprowadzania procesu napromieniowania wyrobów medycznych oraz certyfikat GMP wydany przez Główny Inspektorat Farmaceutyczny.

W dniu 17 grudnia 2024 r. Instytut podpisał z chińską firmą CGN Dasheng Electron Akcelerator Technology CO., LTD umowę na instalację kolejnego akceleratora. Przedsięwzięcie będzie realizowane w ramach projektu "RAPID" – Centrum Badań i Technologii Radiacyjnych. Zwiększenie potencjału badawczego IChTJ zostało dofinansowane z Krajowego Planu Odbudowy (KPO). Akcelerator zostanie zainstalowany w Stacji Sterylizacji Radiacyjnej Wyrobów Medycznych i Przeszczepów. Zakup nowego źródła promieniowania jonizującego dużej mocy zapewni jednostkom naukowym i przedsiębiorcom dostęp do nowoczesnej instalacji stosowanej do: sterylizacji radiacyjnej wyrobów medycznych, produktów leczniczych i przeszczepów, dekontaminacji mikrobiologicznej, konserwacji obiektów historycznych oraz modyfikacji materiałów.

Podczas dwudniowego szkolenia zostaną przedstawione obiektywne informacje na temat różnych metod wyjaławiania w taki sposób, aby wytwórcy mogli wybrać najlepsze, z punktu widzenia ich produktu. Do udziału w Szkole w charakterze wykładców zaproszono specjalistów z IChTJ w Warszawie, Międzyresortowego Instytutu Techniki Radiacyjnej z Łodzi, Krajowego Centrum Bankowania Tkanek i Komórek. Szkolenie będzie obejmowało następujące zagadnienia:

- Porównanie różnych metod sterylizacji,
- Źródła promieniowania jonizującego,
- Oddziaływanie promieniowania jonizującego na materię,
- Mikrobiologiczne aspekty sterylizacji,
- Wyznaczanie dawki sterylizacyjnej,
- Walidacja procesu sterylizacji radiacyjnej,
- Wpływ promieniowania jonizującego na materiały polimerowe,
- Rola opakowań w sterylizacji radiacyjnej,
- Sterylizacja radiacyjna przeszczepów i napromieniowanie krwi,
- Dekontaminacja żywności.

Szkolenie może być przydatne również osobom planującym wykorzystanie promieniowania jonizującego do radiacyjnej modyfikacji polimerów i konserwacji obiektów o znaczeniu historycznym.

Komitet Organizacyjny: dr inż. Urszula Gryczka, dr inż. Andrzej Rafalski, dr inż. Magdalena Rzepna, dr inż. Wojciech Głuszewski, dr inż. Marta Walo.

Koszt udziału w dwudniowym szkoleniu wynosi 500 PLN (brutto). Szkoła zostanie zorganizowana w formule on-line na platformie Zoom. Link do spotkania zostanie przesłany na dzień przed planowanym terminem szkolenia. Uczestnicy otrzymają świadectwo ukończenia kursu.

Osoby zainteresowane wzięciem udziału w szkoleniu proszone są o przesłanie zgłoszenia na adres mailowy: m.rzepna@ichtj.waw.pl



Fot. 1. Skaner akceleratora elektronów Elektronika 10/10 (fot. IChTJ)

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

IPITEX – INTERNATIONAL INTELLECTUAL PROPERTY, INVENTION, INNOVATION AND TECHNOLOGY EXPOSITION

W dniach 2-6 lutego 2025 r. odbyła się w stolicy Tajlandii, Bangkoku Międzynarodowa Wystawa Własności Intelektualnej, Wynalazczości, Innowacji i Technologii „IPITEx”, zorganizowana przez Narodową Radę Badań Naukowych (National Research Council of Thailand – NRCT).

Jest to jedno z największych wydarzeń promujących wynalazczość w tym kraju, wpisujące się w „Dzień Wynalazków” obchodzony od 1995 r. 2 lutego każdego roku. Od 2001 r. NRCT została wyznaczona na wiodącą agencję koordynującą działania z innymi agencjami rządowymi i sektorem prywatnym w celu zorganizowania Dnia Wynalazców w Tajlandii. Wydarzenie to stanowi platformę do wymiany myśli technologicznej oraz innowacyjnych rozwiązań pomiędzy wynalazcami i organizacjami z całego świata. W tegorocznej ekspozycji udział wzięli racjonalizatorzy z 30 krajów, przedstawiając około 3000 projektów. W tej wystawie Instytut Chemii i Techniki Jądrowej zaprezentował zgłoszenie patentowe P.447304 „Sposób i urządzenie zwiększające wydajność wytwarzania biogazu oraz podnoszące w nim stężenie metanu poprzez zastosowanie zwrotnego procesu perkolacji w końcowej strefie metanogenezy (A method and a device for increasing the efficiency of biogas production and the concentration of methane therein by using a reverse percolation process in the final zone of methanogenic reactor).

Autorzy tego wynalazku, którymi są: prof. dr hab. inż. Andrzej Chmielewski, mgr inż. Marcin Sudlitz,



Fot. 1. Dyplom za udział IChTJ w Międzynarodowej Wystawie Własności Intelektualnej, Wynalazczości, Innowacji i Technologii „IPITEx” (fot. Sylwester Wojtas)

inż. Janusz Usidus, inż. Maciej Usidus zostali nagrodzeni przez międzynarodowe jury srebrnym medalem.

Krzysztof Krukowski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



Fot. 2. Medal srebrny dla IChTJ za wynalazek: zgłoszenie patentowe P.447304 „Sposób i urządzenie zwiększające wydajność wytwarzania biogazu oraz podnoszące w nim stężenie metanu poprzez zastosowanie zwrotnego procesu perkolacji w końcowej strefie metanogenezy” (fot. Sylwester Wojtas)

CO NOWEGO W PTN?

W drugim zeszłorocznym numerze naszego czasopisma informowaliśmy – dość obszernie – o kolejnym, XVI już, Zjeździe Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego, który odbył się 11 maja 2024 r. w budynku Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

W cytowanej publikacji przedstawiono sprawozdanie z działalności Towarzystwa w poprzedniej kadencji, przytoczono wnioski zgłoszone podczas Zjazdu oraz podano wyniki wyborów nowych władz PTN. Prezesem PTN na kadencję 2024-2027 został wybrany Paweł Gajda.

Jak informowaliśmy w trzecim numerze PTJ, we wrześniu 2024 r. nastąpiła zmiana na stanowisku dyrektora Departamentu Energii Jądrowej w Ministerstwie Przemysłu. Nowym dyrektorem departamentu został dr Paweł Gajda. Stąd w następstwie objęcia nowej funkcji, wpłynęła jego pisemna rezygnacja z pełnienia funkcji prezesa PTN. Na spotkaniu Zarządu w dniu 8 października 2024 r. przyjęto rezygnację Pawła Gajdy i na drodze głosowania wybrano zastępcę pełniącego funkcję prezesa PTN, którym została dr hab. Agnieszka Korgul.

13 stycznia 2025 r. odbyło się posiedzenie Zarządu i Komisji Rewizyjnej PTN. Zebraniu przewodniczył sekretarz generalny Towarzystwa Filip Jędrzejek. Sekretarz PTN poinformował o bieżących działaniach Towarzystwa.

W grudniu 2024 r. zostały ostatecznie zgłoszone aktualizacje do Krajowego Rejestru Sądowego (KRS). Zgłoszenie dotyczyło aktualizacji składu zarządu i sprawozdań z przeprowadzonych spotkań zarządu oraz zjazdu walnego PTN.

Filip Jędrzejek poinformował o przyjęciu do Towarzystwa nowych członków. Aktualna liczba aktywnych członków towarzystwa zawiera 112 nazwisk.

Sprawą ważną w działalności PTN jest konkurs na najlepsze prace doktorskie, magisterskie, inżynierskie i licencjackie związane tematycznie z atomistyką. Zaktualizowano regulamin konkursu i uruchomiono adres e-mail: konkurs@ptnukleoniczne.pl, na który zbierane są zgłoszenia. Działania sfinalizowano w marcu, wtedy też powołano komisję konkursową i opublikowano oficjalne otwarcie naboru prac dyplomowych. Przyjmowanie zgłoszeń otwarto od 17 marca do 31 lipca.

Wśród innych aktualnych lub kontynuowanych inicjatyw zostały wskazane następujące wydarzenia:

- **Akademickie Forum Energii Jądrowej, 9-11 kwietnia, AGH w Krakowie** <http://afej.agh.edu.pl/?p=456>

Akademickie Forum Energii Jądrowej to platforma skupiająca studentów, naukowców i specjalistów zainteresowanych energetyką jądrową. Celem forum jest promowanie wiedzy na temat technologii jądrowych

i ich zastosowań w energetyce oraz innych dziedzinach. Organizowane są regularne spotkania, seminaria i warsztaty, podczas których uczestnicy mogą poszerzyć swoją wiedzę w wymienionej tematyce. Dzięki szerokiej współpracy z instytucjami naukowymi i przemysłem, forum stanowi istotny wkład w kształcenie przyszłych kadr dla energetyki jądrowej i promocję tej ścieżki kariery. Wydarzenie odbywa się cyklicznie już od 2016 r. i jest już dobrze rozpromowane wśród studentów wszystkich uczelni, którzy regularnie w nim uczestniczą. Jest organizowane w formule otwartej, gdzie udział w każdym punkcie programowym jest bezpłatny. Wydarzenie zostało objęte patronatem m.in. przez Minister Przemysłu Marzenę Czarnecką.

- **Konkurs Innovation for Nuclear Poland i warsztaty dla uczestników I4N, Uniwersytet Warszawski**

I4N to europejski konkurs innowacji organizowany przez European Nuclear Society Young Generation Network. Celem konkursu jest zachęcenie do powstawania nowych i innowacyjnych technologii, aplikacji lub systemów jądrowych, a nawet tworzenia start-upów. Polski finał jest organizowany przez Polskie Towarzystwo Nukleoniczne, we współpracy z Sekcją Radiochemii Chemii Jądrowej Polskiego Towarzystwa Chemicznego. Motto tegorocznej edycji to: „Nuclear Technology – an Opportunity for Economic Development”.

Tematyka otwiera się na szeroko pojęte technologie jądrowe, nie ograniczając się jedynie do popularnej energetyki jądrowej. Chodzi o zwrócenie uwagi na możliwości, jakie oferują technologie jądrowe w kontekście ekonomicznego rozwoju.

Wszystkie zakwalifikowane zespoły, mają możliwość korzystania z konsultacji z mentorem oraz uczestnictwa w warsztatach i webinarium tematycznych ze specjalistami. Co więcej, na zwycięzców krajowego konkursu czeka sponsorowany wyjazd na międzynarodowy finał do stolicy Chorwacji.

Finał odbył się w ramach Akademickiego Forum Energii Jądrowej 10 kwietnia br. i był poprzedzony m.in. warsztatami na Uniwersytecie Warszawskim, które odbyły się 1 marca 2025 r.

Szczegółowe informacje i regulamin na stronie: <https://ptnukleoniczne.pl/i4n/>

- **Wykład i warsztaty dotyczące przemysłu jądrowego, czerwiec 2025 r., Politechnika Warszawska**

Tutaj jeszcze dużo niewiadomych, ale ma być to wydarzenie dotyczące kształcenia kadr na potrzebę EJ w Polsce. Trwają wstępne konsultacje z partnerami w przemyśle, więcej informacji już wkrótce.

- **Seminaria SEP, PTN, SEREN i Fundacji Forum Atomowe**

Seminarium organizowane przez wyżej wymienione organizacje, nawiązujące do seminariów „Pod

Kominem”, w poprzednim roku odbyło się 24 września 2024 r.

Tematem spotkania w dniu 25 stycznia 2025 r. był referat pt. „Zastosowanie małych reaktorów modułowych (SMR) w ciepłownictwie”, który wygłosiła Alice Neffe, Country Manager, Poland z fińskiej Firmy Steady Energy Oy.

Seminarium odbyło się w formule hybrydowej: w sali konferencyjnej Biura SEP w Warszawie, ul. Świętokrzyska 14 i jednocześnie na platformie Zoom.

• Baltic Nuclear Energy Forum

PTN objęło patronatem wydarzenie Baltic Nuclear Energy Forum, które już po raz drugi odbyło się w Gdańsku, tym razem w dniach 18-22 marca 2025 r.

Baltic Nuclear Energy Forum to platforma wymiany wiedzy i doświadczeń o innowacyjnych rozwiązaniach w energetyce jądrowej. Program II edycji skupił się na temacie wykorzystania kapitału regionów w rozwoju

energetyki jądrowej. Głównym celem było uwypuklenie roli „local contentu” w projektach jądrowych, czyli maksymalizacji korzyści dla lokalnych społeczności i gospodarek.

Podczas BNEF omówiono globalne strategie wykorzystania kapitału regionów oraz przykłady krajów, które z sukcesem wdrożyły takie polityki. Skupiono się na rozwoju lokalnych kadr, współpracy z uczelniami oraz wsparciu dla firm w sektorze jądrowym. Szczególną uwagę poświęcono akceptacji społecznej, komunikacji oraz korzyściom z lokalnych inwestycji w energetykę jądrową. Dodatkowo wydarzenie współtworzyli członkowie PTN, prowadząc warsztaty i biorąc udział w panelach dyskusyjnych.

Stanisław Latek,
Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,
Warszawa



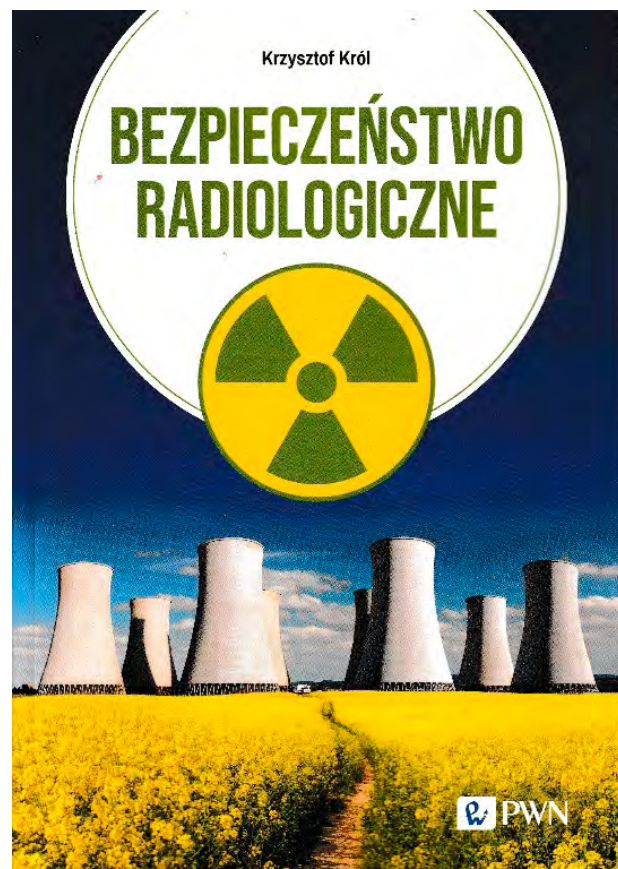
BEZPIECZEŃSTWO RADIOLOGICZNE KRZYSZTOF KRÓL PAŃSTWOWE WYDAWNICTWO NAUKOWE WARSZAWA 2024

Autor publikacji „Bezpieczeństwo Radiologiczne” stara się przedstawić rzeczywiste informacje dotyczące promieniowania jonizującego oraz działania organizacyjno – techniczne pokazujące, że energetyka jądrowa jest jednym z najbezpieczniejszych sposobów pozyskiwania energii.

„Bezpieczeństwo Radiologiczne” to obszerna, unikalna, publikacja przedstawiająca w interesujący sposób bardzo szeroki wachlarz zagadnień powiązanych z bezpieczeństwem jądrowym. Zakres tematyczny wraz ze skondensowanym opisem omawianych problemów pozwala traktować opracowanie, jako mini encyklopedię ochrony radiologicznej. Zaletą opracowania jest próba uporządkowania pojęć z zakresu techniki jądrowej. Jest to szczególnie ważne w chwili, gdy zaczyna się kolejna próba budowy polskiej energetyki jądrowej.

W kolejnych rozdziałach książki przedstawiono wybór najważniejszych według autora zagadnień opisujących istotę bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej takich jak zdarzenia radiacyjne, źródła potencjalnych zagrożeń oraz bezpieczeństwo jądrowe energetycznych reaktorów jądrowych. Opisano również zaistniałe katastrofy radiologiczne.

W pierwszym rozdziale omówiono dość szczegółowo budowę atomu i zagadnienia związane z fizyką jądrową. Podobna tematyka jest poruszana w wielu



Fot.1. Projekt okładki Przemysław Spiechowski

publikacjach. Celem tego omówienia jest wyjaśnienie właściwości różnych rodzajów promieniowania jonizującego i sposobów jego wykrywania. Zasygnalizowano również istnienie bardzo poważnego i szeroko dyskutowanego problemu małych dawek i ich

oddziaływania na organizm człowieka. Warto przypomnieć, że wielkim propagatorem idei nieszkodliwości małych dawek, a nawet ich dobroczynnego działania był prof. Zbigniew Jaworowski jeden z założycieli Stowarzyszenia Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej (SEREN) i aktywny członek Komitetu Naukowego Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ) ds. Skutków Promieniowania Atomowego (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, UNSCEAR*) monitorującego zmiany poziomu promieniowania jonizującego na Ziemi. Polska od 1973 r. należy do tego komitetu, o czym nie wspomniano w opracowaniu. W rozdziale drugim przedstawiono podstawowe zasady bezpieczeństwa jądrowego w obiektach jądrowych, tzn. w obiektach (włączając budynki i urządzenia), w których materiały promieniotwórcze lub rozszczepialne są produkowane, przetwarzane, przetwarzane, przechowywane lub magazynowane i wymagają specjalnych zezwoleń. Na uwagę zasługują specjalne strefy i obszary wokół obiektów jądrowych zagrożonych zdarzeniami radiacyjnymi systemów bezpieczeństwa, cyberbezpieczeństwo, ochrona społeczeństwa i środowiska.

Kolejny rozdział poświęcono omówieniu procedur działania w przypadku powstania zdarzenia radiacyjnego. Zgodnie z obowiązującą definicją zdarzeniem radiacyjnym określa się wydarzenie na terenie kraju lub poza jego granicami, związane z materiałem jądrowym, źródłem promieniowania jonizującego, odpadem promieniotwórczym lub innymi substancjami promieniotwórczymi, powodujące lub mogące powodować zagrożenie radiacyjne. Przedstawienie i omówienie tego tematu jest bardzo potrzebne i wymaga szerszej popularyzacji, ponieważ budzi ono wiele nieporozumień i może być źródłem niepokoju społecznych. Niezrozumienie i podsycanie obaw przed promieniowaniem jonizującym jest powszechnie wykorzystywane przez przeciwników energetyki jądrowej.

W następnym rozdziale przedstawiono zasady prowadzenia działalności z wykorzystaniem różnorodnych materiałów będących źródłami promieniowania ze szczególnym uwzględnieniem aparatury pomiarowej i medycznej.

W rozdziale piątym dokonano przeglądu urządzeń wykorzystujących źródła promieniowania lub wytwarzających takie promieniowanie oraz ich zastosowanie w różnych dziedzinach. Ten temat też powinien być szerzej spopularyzowany by pokazać różnorodność zastosowań promieniowania.

Rozdział szósty jest przeglądem współczesnych technik reaktorowych z podkreśleniem bezpieczeństwa ich pracy. Nieliczne publikacje popularyzujące energetykę jądrową przedstawiają wszystkie istotne problemy dotyczące działania elektrowni jądrowej. Przedstawione opisy koncentrują się przeważnie na wyjaśnianiu awaryjnych systemów bezpieczeństwa i ochronie radiologicznej. Wprowadzono również opisy nowo opracowywanych koncepcji małych reaktorów modularnych SMR (*Small Modular Reactor*) co jest bardzo ważną informacją w czasie, gdy rozwój energetyki jądrowej w Polsce wydaje się być bliski i toczy się dyskusja o jej kształcie.

Ostatni rozdział jest przeglądem największych zaistniałych katastrof radiologicznych. Pewnym brakiem w konkluzji tego rozdziału, jest pominięcie międzynarodowej akcji po katastrofie w Fukushima (zalecenia Europejskiej Grupy Bezpieczeństwa Jądrowego – *European Nuclear Safety Regulatory Group – ENSREG*), przeprowadzenia we wszystkich obiektach jądrowych tzw. Stress Testu – testów wytrzymałościowych polegających na sprawdzeniu poprawności działania systemów bezpieczeństwa w ekstremalnie trudnych warunkach. Bardzo istotną, przy toczącej się dyskusji o budowie w Polsce elektrowni jądrowej, jest uwaga w konkluzji o podsycaniu strachu przed wszystkim co dotyczy działalności jądrowej. Brak jest w przestrzeni publicznej rzetelnej informacji o energetyce jądrowej.

W książce dla lepszego zobrazowania omawianych zagadnień zamieszczono wiele ilustracji i wykresów. Dołączono również słownik używanych skrótów terminów angielskich. Przy tak rozbudowanej tematyce przydałby się również skorowidz. Szkoda, że brak jest informacji o autorze. Pewien niedosyt budzi też brak informacji o polskich staraniach zapewnienia bezpieczeństwa radiacyjnego np. działalności Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej czy nowo powstających w naszym kraju inicjatyw np. Konsorcjum Ochrony Radiologicznej. Książka jest pomocna, jako wprowadzenie do technik jądrowych dla studentów reaktywowanych na uczelniach studiów w zakresie energetyki jądrowej.

Rzymkowski Krzysztof,
Stowarzyszenie Ekologów
na Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa

10. KONGRES PRZEMYSŁU JĄDROWEGO EUROPY ŚRODKOWO-WSCHODNIEJ 2025, CEE NUCLEAR POWER & SMR FOCUS 2025, 10-11 czerwca 2025 r., Warszawa, Polska

Jako najważniejsze wydarzenie dla przemysłu jądrowego w regionie, ten kongres stał się zaufaną platformą do promowania programu energetyki jądrowej. W tym roku z dumą obchodzimy 10. edycję tego znanego spotkania, gromadzącego kluczowych interesariuszy z całego łańcucha sektora jądrowego.

10. kongres CEE NUCLEAR POWER & SMR FOCUS 2025, odbędzie się w dniach 10-11 czerwca w Warszawie i ma na celu zgromadzenie firm działających we wszystkich obszarach cyklu życia elektrowni jądrowych, aby omówić najnowsze możliwości na rynku jądrowym, aktualizację informacji na temat nowych konstrukcji, SMR, przedłużania żywotności i likwidacji obiektów jądrowych, gospodarki odpadami, projekty związane z paliwem jądrowym w krajach Europy Środkowo-Wschodniej (Polska, Czechy, Węgry, Bułgaria, Słowenia, Słowacja, Finlandia, Litwa, Rumunia itd.). Oczekuje się, że tym razem dołączy do nas ponad 250 doświadczonych uczestników, ponad 40 prelegentów, 150 przedstawicieli firm z ponad 10 krajów.

Więcej informacji na temat kongresu można znaleźć na stronie internetowej <https://www.szwgroup.com/central-eastern-europe-nuclear-industry-congress/>

10th CENTRAL & EASTERN EUROPE NUCLEAR INDUSTRY CONGRESS 2025, Co-located: SMR & AR CEE FOCUS 2025, June 10-11th 2025, Warsaw, Poland

As the premier event for the nuclear industry in the region, this congress has become a trusted platform for advancing the nuclear energy agenda. This year, we are proud to mark the 10th edition of this renowned gathering, bringing together key stakeholders from across the entire nuclear value chain.

10th CEE NUCLEAR POWER & SMR FOCUS 2025, June 10-11, Warsaw, Poland aims to bring together companies involved in all areas of the nuclear power plant life cycle to address latest nuclear market opportunities, update on New Build, SMRs, Life Extension & Decommissioning, Waste Management, Nuclear Fuel related projects in CEE countries (Poland, Czech Republic, Hungary, Bulgaria, Slovenia, Slovakia, Finland, Lithuania, Romania and etc) with expected 250+ Senior Attendees, 40+ Speakers, 150+ Company REPRESENTEDG + 10 COUNTRIES to join us this time.

More information about the congress can be found on the website <https://www.szwgroup.com/central-eastern-europe-nuclear-industry-congress/>

Steven Song
Head of Government & Public Relationship,
Atomtoday, SZ&W Group,

NA WŁASNE RYZYKO! („FILOZOFIA, METODYKA I PRAGMATYKA RYZYKA” – CZ. II)

Podtytuł cyklu felietonów „Filozofia, metodyka i pragmatyka ryzyka” sugeruje, iż teksty w nim publikowane, powinny zostać poddane określonemu – na osi czasu – rytmowi narracji oraz nade wszystko, powinny respektować zasady przygotowywania tekstu naukowego. A więc należałoby przestrzegać reżim ścisłych wymogów, związanych z zasadami prezentacji zagadnień bliższych oglądowi naukowemu, niż ma to miejsce zazwyczaj przy przygotowywaniu tekstów w typowej felietonowej konwencji.

I w tej konkretnej sytuacji, nie oceniłem właściwie poznawczych reperkusji, samodzielnie podjętego wyboru. Mówiąc wprost! Nie przewidziałem trafnie ryzyka związanego z zapowiedzią, jaką sam sformułowałem i zaproponowałem.

Przy założeniu, że będziemy konsekwentnie – w obszarze problematyki związanej z ryzykiem – metodycznie korzystać z dorobku filozofów, psychologów, socjologów, lekarzy, naukowców, reprezentujących różne dyscypliny wiedzy inżynierów, wojskowych, bhp-owców, meteorologów, geologów, biologów, ekologów, ekspertów od ubezpieczeń, giełdy, czy bankowości etc., etc., niniejszy cykl zamieniłby się w niekończący się serial. A pożytek z zamieszczanych tu informacji, podawanych – siłą rzeczy – w rozmiarach encyklopedycznych haseł nie byłby chyba, zbyt imponujący. Ponadto każdy tekst musiałby posiadać przypisy – dość pokaźny objętościowo – wykaz specjalistycznej literatury. A całe ambitne przedsięwzięcie autorskie, mógłby się zamienić – li tylko – w wykaz „dobrych rad”.

A co wiadano już w kwestii ryzyka w starożytności? Jeśli nadchodzi niebezpieczeństwo, nie oczekujemy wtedy „dobrych rad”, ale natychmiastowej, konkretnej pomocy.

Czy nie warto najpierw odpowiedzieć sobie na pytanie: dlaczego mamy zawierzyć ekspertowi chcącemu nam zdradzić tajniki inwestowania na giełdzie? Oczywiście, czyni to on w jednym celu. Chce, abyśmy byli nieprzyswoicie bogaci! I sam nawet – w altruistycznym przekonaniu – nie korzysta ze swojej głębokiej wiedzy, aby zamienić się w szejka, zawiadującego ogromnymi złożami pierwiastków, zwłaszcza takich, które występują na globie w ilościach niewspółmiernych do aktualnego na nie popytu! Tylko żyje skromnie z dochodów, jakie przynoszą reklamy. I dzięki tak wielce szczytnej filozofii życiowej, jego mini-wykłady mogą być przerwane nawoływaniem do konsumpcji – na przykład – chipsów. Co przecież – w ostatecznym rachunku – nie pozostaje bez znaczenia na wzrost PKB.

Nawet pobieżnie poczyniony przegląd zainteresowania przedstawicieli poszczególnych dyscyplin naukowych ryzykiem, prowadzi do wniosku, że prym wiodą tu ekonomia i finanse pospół, a sektor bankowości i ubezpieczeń nie żałuje grosza klientom, na badania ryzyka, na jakie narażone są podmioty tychże instytucji, z uwagi na kiepską kondycję finansową pożyczkobiorców.

Natomiast w sytuacji zagrożeń militarnych ze strony państw, niekoniecznie nam do końca życzliwych, natychmiast do głosu dochodzą eksperci od geopolityki, czyli strategii w skali globalnej i tej zwykłej strategii już tylko lokalnej.

Zawartość semantyczna samego wyrazu ryzyko, nie nastrocza trudności w jego rozumieniu w leksykalnej warstwie komunikacyjnej. Słownikowo wszak, chodzi o taki rodzaj przedsięwzięcia, którego wynik jest nieznan, niepewny, problematyczny.

Rzecz w tym, że jednak dla ludzi, najważniejsza w tym wypadku jest umiejętność precyzyjnego określenia zakresu i charakteru niewiadomej, kryjącej się w słowie ryzyko. Pragniemy wiedzieć, jakie jest prawdopodobieństwo wystąpienia konkretnego skutku, w określonej sytuacji i czasie. Po prostu chcemy to ryzyko najbardziej precyzyjnie – jak to jest możliwe – zmierzyć! I jesteśmy przekonani, iż to, co udało się nam na zajęciach podczas kursu bezpieczeństwa i higieny pracy może się nam udać, także na innych polach aktywności ludzkiej, a nie tylko przy korzystaniu z drabiny.

Tymczasem zawirowania rzeczywistości przekonują, że może jednak miał rację współczesny literat, Marcin Świetlicki, sugerujący, iż Bóg stworzył świat dla potrzeb powodzi i telewizji. I jak nie wierzyć Marcinowi Świetlickiemu, będąc widzem programów telewizyjnych, mających na celu relację z ubiegłorocznej powodzi w Polsce! Na podstawie tychże reportaży oraz telewizyjnych i radiowych dyskusji, można nakręcić jeszcze więcej seriali o zawiłych meandrach myśli polityków, samorządowców i nas zwykłych zjadaczy chleba powszedniego.

Nie można nie przechować, w pokładach naszej zbiorowej pamięci, wygłoszonej jeszcze w minionym wieku światłej myśli polityka polskiego, który rzekł na wieść o dotkliwych skutkach powodzi, słowa słuszne i prawdziwe. Stwierdził, iż od powodzi trzeba się ubezpieczać. Krótka, a wymowna konstatacja, stała się koronnym argumentem do pozbawienia tegoż polityka, fotela prezesa Rady Ministrów.

Do tej pory jednak nie powstała uczona dysertacja na temat wpływu powodzi na rotację najwyższych stanowisk w państwie. A przy tworzeniu nowego kanonu lektur szkolnych, nie włączono do procesu dydaktycznego, książki Urlicha Becka „Społeczeństwo ryzyka”.

Z tego, co wiem – od samego Autora tejże książki – za honorarium ze sprzedaży pierwszego jej nakładu, kupił sobie mieszkanie własnościowe. W ten sposób nie tylko pozbawiono znanego socjologa, możliwości

zakupu większego lokum, ale nie dano szansy na zapoznanie się młodzieży z wnioskami płynącymi z książki. A jest ona dobrym przewodnikiem po naszej współczesności, gdzie ryzyko zagościło się na dobre.

Autor ten bowiem twierdzi, że społeczeństwo ryzyka jest społeczeństwem katastrof i zagraża mu to, że stany wyjątkowe, stają się stanami normalnymi.

Co do stanów normalnych jestem za tylko i wyłącznie wtedy, gdyby autor miałby na myśli Stany Zjednoczone.

Notabene, trudno powstrzymać się od spostrzeżenia, że niezależnie, jaki kraj byśmy w miejsce wyżej wymienionego państwa wpisali, każdy z nich, ma całkiem spore portfolio ryzyk i niebezpieczeństw, na które musi znaleźć remedium i którym musi dać skuteczny odpór.

W społeczeństwach uznawanych za relatywnie bogate, dobrobyt przemodelował dotychczasowy obraz wartości i wygenerował nowy. Dobrobyt, a raczej marzenie o jego osiągnięciu, przewartościowało też hierarchię rodzajów bezpieczeństwa.

A wraz z nowym obrazem świata, pojawiły się nowe zagrożenia. Gwałtownym przyspieszeniom ulegają procesy społeczne, tracąc swoją uprzednią jakość

i zamieniają się w zatowizowane epizody, nie poddające się łatwo racjonalnej, trzeźwej refleksji.

Czy będziemy społeczeństwem strachu, fobii, irracjonalnych uprzedzeń, czy społeczeństwem głębokiego i powszechnego zaufania w oparciu wyłącznie o posiadane kompetencje? Społeczeństwem opartym o rzeczywistą wiedzę, czy raczej mamionym zapewnieniami ekspertów o wysokim poziomie kontroli nad potencjalnymi zagrożeniami?

Nie są to bynajmniej pytania retoryczne. I na pewno warto refleksji!

Stąd też pomysł na niniejszy cykl, który byłby poświęcony fundamentalnym kwestiom, coraz bardziej złożonym relacjom społecznym, w cywilizacji, zwanej już przecież od dawna, technopolem.

A ponieważ rozpoczęliśmy ten cykl, od tekstu zainspirowanego datą 13 października – mam pytanie: czy dzień 2 lutego może też mieć związek z nukleoniką? Będę wdzięczny za głosy Szanownych Czytelników w tejże (i oczywiście nie tylko!) kwestii.

Marek Bielski,
Przegląd Techniczny,
Warszawa



DARIUSZ WITOLD
KULCZYŃSKI

(01.06.1953 – 09.12.2024)

Ostatni artykuł Darek Kulczyński zamieścił w *Postępkach Techniki Jądrowej* (PTJ) w numerze 3/2023 na rok przed swoim odejściem. Dowiedzieliśmy się w nim o wizycie premiera Mateusza Morawieckiego w czerwcu 2023 r. w miejscu, gdzie będzie budowany pierwszy mały reaktor modułowy na terenie elektrowni Darlington taki, jaki zamierza budować w Polsce spółka Orlen Synthos Green Energy (OSGE). W naszym kwartalniku drukował swoje artykuły od 2010 r. i na przestrzeni tych lat było ich w sumie aż 16, a wcześniej w *Wiadomościach Elektrotechnicznych*.

Dariusz Kulczyński urodził się w Warszawie w 1953 r., tu uczęszczał do Liceum im. Tadeusza Reytana, które ukończył w 1972 r., a następnie rozpoczął studia na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej. Po uzyskaniu dyplomu rozpoczął pracę w Elektrociepłowni Żerań, a potem w Centrali Handlu Zagranicznego Megadex gdzie pracował przez dwa lata do października 1981 r. Początek stanu wojennego zastał go w Kanadzie. Początkowo znalazł pracę ośrodkiem szkoleniowym przy elektrowni jądrowej NPD (Nuclear Power Demonstration) w Rolphton z reaktorem o mocy 22 MWe, a następnie w elektrowni Darlington wyposażonej w cztery ciężko-wodne reaktory CANDU każdy o mocy 930 MWe,



Fot. 1. Darek Kulczyński (archiwum rodzinne)



Fot. 2. Fizycy, których już nie ma – dr Ryszard Gokieli i dr Wiktor Peryt – prof. Jerzy Pluta – prof. Krzysztof Gawędzki – prof. Wojciech Kopczyński (fot. archiwum rodzinne)

gdzie pracował do lutego 2015 r. W tym czasie zajmował się systemami bezpieczeństwa, utrzymania ruchu i przeładunku paliwa w elektrowni NPD, a po przejściu do elektrowni Darlington, obsługą różnorodnych systemów komputerowych i ich modernizacją oraz instalacją systemów nadzoru wibracji zestawu pomp głównych. Pracował w tej elektrowni aż do przejścia na emeryturę w 2015 r.

Doświadczeniami ze swojej pracy dzielił się chętnie w publikowanych artykułach. Pierwsze pisał do Wiadomości Elektrotechnicznych:

- Kanadyjska energetyka jądrowa (nr 3/2008);
- Ewolucja reaktorów CANDU w kontekście dyskusji o polskiej energetyce jądrowej (nr 2/2009), a od 2010 r., już tylko do PTJ.

Jego dorobek jest naprawdę obszerny i obejmuje następujące pozycje:

- Kanadyjskie reaktory ciężkowodne typu CANDU (nr 1/2010);
- „Renesans Nuklearny” (nr 4/2011);
- Działalność WANO – Światowego Stowarzyszenia Operatorów Elektrowni Jądrowych (nr 4/2014);
- Bezpieczeństwo nuklearne na II Kongresie Energii Jądrowej w Warszawie (nr 3/2012);
- Energetyka jądrowa, efekt cieplarniany i polityka (nr 1/2013);
- Los odpadów promieniotwórczych (nr 4/2013);

- Remonty kapitalne w kanadyjskich elektrowniach jądrowych (nr 4/2015);
- Energetyka jądrowa po Umowie Paryskiej i wyborach w USA i nie tylko (nr 4/2016);
- Uwarunkowania polityki energetycznej europejskiej i odniesienie do Polski (nr 1/2017);
- W poszukiwaniu seryjnie produkowanego reaktora XXI wieku (nr 4/2017);
- Przedłużenie eksploatacji elektrowni jądrowej Pickering w Kanadzie (nr 4/2018);
- Jak zrealizować Program Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ) (nr 4/2021);
- Jakie reaktory dla Kanady: CANDU, SMR? (nr 3/2022);
- BWRX-300, pierwszy SMR w Darlington (nr 3/2023, s.7);
- Tło wizyty premiera Mateusza Morawieckiego w Darlington. (nr 3/2023, s.35),

oraz rodzinne wspomnienie o swoim wuju:

- In memoriam: Ryszard Gokieli (1947-2011) (nr 4/2011).

Na początku opisywał swoją pracę zawodową, jako inżyniera ruchu w elektrowni, dalej przedstawiał sprawy eksploatacyjne w kanadyjskich elektrowniach jądrowych, by ostatnio zajmować się sprawą budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

Zacznę może od sugestii jak należy realizować PPEJ (PTJ nr 4/2021), gdzie pisał o przekazaniu w grudniu 2020 r. do Ministerstwa Klimatu obszernego raportu

jednego z polskich inżynierów pracujących w Kanadzie, mgr. inż. Jerzego Parkitnego pt. „Westinghouse AP1000 constructability briefing” na temat możliwości partnera strategicznego jakim była wtedy firma Westinghouse. Niestety nie wiemy jak te wiadomości zostały wykorzystane w rozmowach z tą firmą, ale wiemy, że dziś będzie budować pierwszą elektrownię w Polsce, w Choczewie. W kolejnym artykule (PTJ 3/2022) autor rozważa odpowiedź na pytanie „Jakie będą reaktory dla Kanady?” i jako odpowiedź otrzymujemy stwierdzenie, że „przez najbliższe 40 lat bloki CANDU będą remontowane”, a po 20 latach będzie wiadomo czy „SMR-y spełniają pokładane w nich nadzieje”, ale aby to wiedzieć trzeba już teraz rozpoczynać ich budowę. Kanada przymierzała się do trzech typów reaktorów: wodny-wrzący BWRX-300, zintegrowany wodny ciśnieniowy firmy NuScale (wtedy jeszcze bez nazwy VOYGR, a dziś wiadomo, że firma zbankrutowała) oraz wysokotemperaturowy chłodzony ciekłymi solami reaktor ISMR. Trzeci artykuł (PTJ nr 3/2023, s.7) prezentuje bardzo szczegółowy opis techniczny reaktora BWRX-300, jaki ma być budowany obok istniejącej elektrowni OPG Darlington. Wyrazem zainteresowania rządu reaktorem BWRX-300 była wizyta polskiego premiera Mateusza Morawieckiego w Kanadzie w czerwcu 2023 r. obszernie relacjonowana w kolejnym artykule wraz z licznymi fotografiami (PTJ nr 3/2023, s.35). Owocem tej wizyty było podpisanie „listu intencyjnego pomiędzy Ontario Power Generation (OPG) i Orlen Synthos Green Energy OSGE) o wprowadzeniu SMR-ów na rynki europejskie”. Dziś widzimy, że współpraca się rozwija i reaktor BWRX-300 może być pierwszym małym reaktorem modułowym uruchomionym w Polsce. Wszystko pod warunkiem, że uruchomienie przez OPG pierwszego reaktora BWRX-300 w Kanadzie na początku 2029 r. nastąpi „bez opóźnień i przekroczenia kosztorysu, co będzie oznaczało rewolucję w przemyśle jądrowym”. A to wiąże się ze stwierdzeniem, że „OSGE ma nadzieję wybudować pierwszy blok tego typu do 2030 r.”

Dariusz Kulczyński jest chyba jedynym polskim autorem, który napisał o energetyce jądrowej w Polsce na łamach prestiżowego miesięcznika Nuclear Engineering International dwa artykuły zatytułowane:

- Poland returns to nuclear power (2010 r.);
- Planning for nuclear in Poland (2014 r.).

W tym pierwszym przewidując optymistycznie uruchomienie pierwszego reaktora w 2020 r., a w tym drugim urealnając jego uruchomienie w 2025 r. i przewidywane zakończenie całego programu budowy w Polsce dwóch elektrowni o mocy 6000 MWe w 2035 r.

Po przejściu na emeryturę jeszcze mocniej zaangażował się w sprawy pozazawodowe i starał się uchronić od zapomnienia fizyków, z którymi zetknął się w swoim życiu zawodowym zaczynając od swojego wuja Ryszarda Gokieli i innych, czego przykładem był wykład na Politechnice Warszawskiej.

Przygotowując to wspomnienie odnalazłem tekst pt. „Praca inżyniera w elektrowni atomowej”, chyba wcześniej nigdzie nie publikowany, a opisujący typowy dzień pracy inżyniera w elektrowni jądrowej i zakończony takim zdaniem „Z perspektywy 27 lat uważam, że praca inżyniera w elektrowni atomowej wymaga wiedzy i dyscypliny. Jest także ciekawa i dająca dużo satysfakcji”. Natomiast przeglądając bardzo obszerną prezentację z odczytu w Bibliotece Publicznej w Warszawie w 25 listopada 2007 r. pt. „Kanada i jej Polonia, daleko od Polski czy blisko?” w podsumowaniu zatytułowanym „Quo Vadis Polski?” znalazłem tekst ilustrujący ogromne zaangażowanie Darka w sprawy energetyki jądrowej w Polsce (fot. 3.).

O innej, poza zawodowej działalności Dariusza Kulczyńskiego i osiągnięciach wśród Polonii Kanadyjskiej napisano w osobnym wspomnieniu i nie będę tych informacji powtarzał, a tu chciałem tylko przybliżyć jego dokonania dla energetyki jądrowej.

Dariusz Kulczyński zmarł w Kanadzie 9 grudnia 2024 r. i został pochowany na Starych Powązkach w grobie rodzinnym (kw. 313-6-25).

opracował:

Andrzej Mikulski

na podstawie własnych materiałów i wspomnień,

Polskie Towarzystwo Nukleoniczne,

Warszawa

Quo Vadis Polsko?

SUGESTIE/RADY DO PRZEMYSŁU NAD WISŁĄ

Polacy muszą zadbać o to żeby dobrze płatne miejsca pracy powstawały w Polsce. Kluczem do tego jest wdrożenie energetyki jądrowej, która stymuluje postęp we wszystkich dziedzinach gospodarki. O energetyce jądrowej rozmawiałem z następującymi polskimi politykami: Antonim Macierewiczem, Lechem Nikolskim, Jackiem Piechotą, Danutą Hübner, Maciejem Płażyńskim, Piotrem Grzegorzem Woźniakiem, Anną Kalatą, Pawłem Kowalem, Jarosławem Kalinowskim i Piotrem Naimskim.

Fot. 3. Widok wniosków dla Polski przedstawionych na odczycie „Kanada i jej Polonia, daleko od Polski czy blisko?”



POŻEGNANIE DARIUSZA WITOLDA KULCZYŃSKIEGO

(01.06.1953 – 09.12.2024)

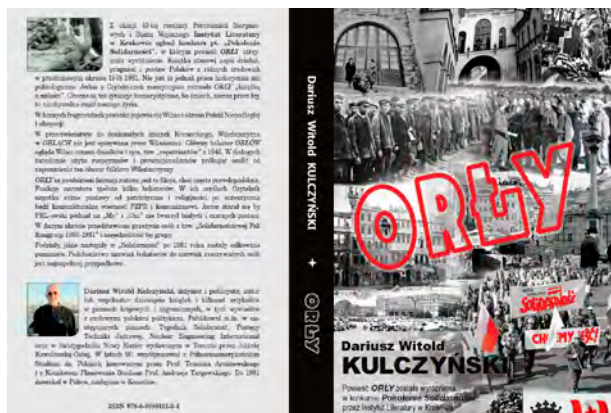
Absolwent Liceum Reytana (1972) i Wydziału Elektrycznego PW (rocznik 1972 – rozpoczęcie studiów); przez 33 lata inżynier w elektrowniach atomowych w Kanadzie. W latach 1988-2013 współpracownik dwutygodnika „Nowy Kurier” w Toronto (Zastępca Redaktora Naczelnego 2000-2008), uczestnik programów publ. TV OMNI.1 (Rogers) w Toronto, autor powieści „Uncrowned Eagles” o Polsce i „Solidarności”.

Członek NSZZ „Solidarność” w latach 1980-1981, działacz Zw. Zaw. i The Society of Energy Professionals, autor raportu dla ministra energetyki o restrukturyzacji firmy Ontario Hydro/OPG w latach 1990-2004, członek stow. APEO/PEO. Współautor prac zbiorowych pod redakcją prof. A. Targowskiego: „Obrona Polski dziś i jutro” – rozdział „NATO a sprawa polska” (Bellona, 1993), „Wizja Polski”, „Losy Polski i Świata 2000” (Red. A. Ajnenkiel, A. Targowski, Bellona, 2000). Odczyty w Kanadzie i w Polsce: „Kanada i jej Polonia, daleko od Polski czy



Fot. 1. Dariusz Witold Kulczyński (fot. archiwum rodzinne)

blisko?” (Biblioteka Publiczna na Koszykowej – 2007 i SDP – 2013), wykłady w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej i na Politechnice Warszawskiej (2008, 2009, 2012); prelekcje na Konferencjach Gospodarczych



Dariusz Witold Kulczyński (fot. archiwum rodzinne)





Dariusz Witold Kulczyński (fot. archiwum rodzinne)

Polonii (2004, 2012), Konferencji NOT (2007) i na II Kongresie Energii Jądrowej (2012) – Half a century of safe CANDU (dedicated to the memory of Ryszard Gokieli, PhD 1947-2011).

Autor kilkuset artykułów i wywiadów z polskimi politykami z różnych partii, takimi jak: Antoni Macierewicz, Marek Borowski, Longin Pastusiak, Jarosław Kalinowski, Lech Nikolski, Tadeusz Iwiński, Andrzej Lepper, Zbigniew Religa, Piotr G. Woźniak, Roman Giertych, Ludwik Dorn, Piotr Naimski, Maciej Płazyński, Bronisław Komorowski i Paweł Kowal.

Publikował w pismach zagranicznych i polskich: „NATO expansion best choice for everyone” („The Examiner” – Peterborough, ON, 1994), „Kanadyjska Energetyka Jądrowa”, „Wiadomości Elektrotechniczne”, „Dla kogo kurs na atom jest błędny?” – „Gazeta Wyborcza” (2008), „Poland returns to nuclear power” (Nuclear Engineering International, 2010), „Dozór Jądrowy w Kanadzie” – Biuletyn PAA BJiOR (2011), „Planning for a nuclear

Poland” (NEI 2014). Artykuły na łamach kwartalnika „Postępy Techniki Jądrowej” m.in. „Bezpieczeństwo nuklearne na II Kongresie Energii Jądrowej w Warszawie”, „Dr Ryszard Gokieli – wspomnienie”, „Efekt cieplarniany i polityka”, „Los odpadów promieniotwórczych”, „Działalność światowego stowarzyszenia operatorów elektrowni jądrowych WANO”, „Uwarunkowanie polityki energetycznej Unii Europejskiej i odniesienie do Polski – wykład prof. Jerzego Buzka”.

W latach 2017-2019 był felietonistą „Tygodnika Solidarność”; artykuły: „Podzieleni”, „Lewica a liberalizm”, „Polska racja stanu”, „Jak rozmawiać z Europą”, „Sukces i propaganda”, „Biały orzeł – czerwone tło – opinia o Polsce za granicą” i wiele innych. Wydał trzy książki „Uncrowned Eagles”, „Orły” (wyróżnienie Instytutu Literatury) oraz wspomnieniową „Polska bez złudzeń”.

*Andrzej Dubrawski,
Warszawa*



PROF. ANDRZEJ STRUPCZEWSKI

(02.03.1937 – 18.02.2025)

Z wielkim żalem przyjęliśmy wiadomość o śmierci dra inż. Andrzeja Strupczewskiego, prof. NCBJ, wybitnego specjalisty w dziedzinie energetyki jądrowej, cenionego eksperta ds. bezpieczeństwa jądrowego oraz niestrudzonego popularyzatora wiedzy o energetyce jądrowej.



Fot. 1. Prof. Andrzej Strupczewski

Profesor Andrzej Strupczewski przez całe swoje życie zawodowe był nie tylko cenionym ekspertem w dziedzinie energetyki jądrowej, ale także aktywnym uczestnikiem debat na temat jej bezpieczeństwa i przyszłości. Niezmiennie dążył do obalania mitów i rzetelnego informowania społeczeństwa o roli energetyki jądrowej we współczesnym świecie. Dzięki swojemu ogromnemu doświadczeniu oraz zaangażowaniu brał udział w kluczowych projektach naukowych i doradczych, mających wpływ na rozwój energetyki jądrowej w Polsce i za granicą. Jego działalność dydaktyczna i popularyzatorska sprawiła, że stał się jednym z najbardziej rozpoznawalnych głosów w dyskusjach na temat bezpieczeństwa i efektywności technologii jądrowych w Polsce, a także poza jej granicami.

Dorobek naukowy i działalność Profesora Andrzeja Strupczewskiego

Profesor Andrzej Strupczewski był absolwentem Politechniki Warszawskiej, gdzie w 1960 r. uzyskał tytuł magistra inżyniera mechanika o specjalności energetyka jądrowa. W 1962 r. ukończył kurs inżynierii reaktorowej w Institut national des sciences et techniques nucléaires w Saclay we Francji, a rok później roczne studia z zakresu inżynierii jądrowej na Columbia University

w Nowym Jorku. W 1969 r. obronił doktorat, a w 1975 uzyskał tytuł docenta w Instytucie Badań Jądrowych. W 2010 r. został powołany na stanowisko profesora w Instytucie Energii Atomowej POLATOM.

Swoją karierę naukową Profesor rozpoczął w 1959 r. w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku. Miał znaczący udział w podnoszeniu mocy reaktora EWA od 2 do 10 MW, pracował także aktywnie przy rozruchu reaktora badawczego MARIA i był kierownikiem Rozruchu Technologicznego Reaktora w lipcu 1974 r. W latach 1975-1983 pełnił funkcję kierownika Zakładu Inżynierii Reaktorowej, prowadząc badania nad wymianą ciepła w reaktorach jądrowych oraz opracowując kody obliczeniowe do analiz bezpieczeństwa reaktorów WWER. Od 1983 do 1993 r. był zastępcą dyrektora Instytutu Energii Atomowej ds. Badań Bezpieczeństwa Reaktorów, kierując międzynarodowymi badaniami nad bezpieczeństwem paliwa WWER i analizami bezpieczeństwa dla reaktorów WWER-440.

W latach 1993-1999 pracował jako starszy specjalista (stopień P5 – najwyższy) w Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA) w Wiedniu, gdzie zajmował się m.in. ocenami bezpieczeństwa reaktorów WWER, porównaniami bezpieczeństwa energetyki jądrowej i konwencjonalnej, a także kierował programem oceny skutków małych dawek promieniowania i zanieczyszczeń powietrza emitowanych przy wytwarzaniu energii elektrycznej. Brał udział w misjach oceny bezpieczeństwa elektrowni jądrowych w Europie Środkowej i Wschodniej.

Od 1999 r. był związany z Instytutem Energii Atomowej (obecnie Narodowe Centrum Badań Jądrowych, NCBJ), pełniąc funkcję przewodniczącego Komisji Bezpieczeństwa Jądrowego. W tym okresie przeprowadzał analizy raportów bezpieczeństwa dotyczące reaktora MARIA, wypalonego paliwa, problemów cieplnych w rdzeniu reaktora, modyfikacji układów reaktora.

W 2010 r. pracował ponownie dla MAEA nad sfinalizowaniem dokumentu technicznego TECDOC na temat wydzielania produktów rozszczepienia z elektrowni jądrowej z reaktorem PWR lub BWR w razie awarii projektowych. W 2011-2012 r. w ramach akcji „stress testów” po awarii w Fukushima przeprowadził ocenę bezpieczeństwa Elektrowni Jądrowej Kozłoduj 3-4 jako wiodący ekspert zaproszony przez Bułgarię. Z kolei w latach 2008-2009 r. pracował ponownie dla MAEA w zespole pięciu międzynarodowych ekspertów przy analizie bezpieczeństwa czterech projektów reaktorów zgłoszonych, jako proponowane do zbudowania w Wielkiej Brytanii (EPR, AP1000, ESBWR i ACR).

Ponadto w okresie od 1986 do 2007 r. przeprowadził 30 misji w zakresie bezpieczeństwa jądrowego do elektrowni jądrowych i reaktorów badawczych oraz w celu szkolenia specjalistów w 16 krajach (takich jak: Armenia, Bułgaria, Chiny, Czechy, Egipt, Finlandia, Irak, Iran, Rosja, Rumunia, Słowacja, Sudan, Syria, Ukraina, USA,

Węgry). Dla Międzynarodowej Agencji Energii uczestniczył także w misji do Słowacji dla oceny różnych gałęzi energetyki słowackiej.

Równolegle od 2001 do 2006 r. prof. Andrzej Strupczewski pracował jako ekspert Komisji Europejskiej ds. bezpieczeństwa reaktorów. Dla programu TACIS (Technical Assistance for Commonwealth of Independent States) przeprowadził m.in.:

- analizę podniesienia stanu bezpieczeństwa w EJ Białakowo i ocenę dalszych potrzebnych prac, w oparciu o zieloną księgę „Safety issues” opracowaną wcześniej przy jego współudziale podczas pracy w MAEA;
- analizę wykorzystania funduszy TACIS przez elektrownie jądrowe w Rosji, na Ukrainie i w Armenii, w ramach tzw. programu OSA – On Site Assistance – tzn. programu pomocy elektrowni jądrowych z krajów Unii Europejskiej elektrowniom w krajach dawnego Związku Radzieckiego (CIS);
- analizę skuteczności pomocy organizacji dozoru jądrowego z krajów Unii Europejskiej dla dozoru jądrowego w Rosji, na Ukrainie i w Armenii, tzw. Programu 2 + 2 – tzn. programu pomocy elektrowni jądrowych z krajów UE elektrowniom w krajach CIS i dozoru jądrowego z UE organizacjom dozoru jądrowego w krajach CIS;
- a także analizę organizacji TSO (Technical Support Organisations) w krajach Unii Europejskiej (27 organizacji) pod kątem ich możliwości pomocy dla dozoru jądrowego w Rosji, na Ukrainie i w Armenii.

Na tym doświadczenia Profesora nie kończą się. Równolegle pracował także dla rządu Austrii jako ekspert opracowujący analizy bezpieczeństwa EJ Temelin w latach 2001-2007, a od 2009 do 2016 r. analizy bezpieczeństwa EJ Mochovce. Dla Temelina prowadził trzy tematy, a mianowicie: 1. kwalifikacja systemów, struktur i elementów EJ Temelin na warunki awaryjne, 2. badania nieniszczące obiegu pierwotnego, 3. odporność EJ Temelin na ciężkie awarie. W każdym z tych tematów opracował własne analizy i porównał ich wyniki z informacjami ze strony czeskiej, po czym przedstawił wnioski ministerstwu środowiska Austrii. Wszystkie trzy tematy zostały zakończone pozytywnymi wnioskami i mimo ogólnie negatywnego ustosunkowania Austrii do energetyki jądrowej wnioski przedstawione przez prof. Strupczewskiego przyjęto na posiedzeniu komisji parlamentu austriackiego w październiku 2007 r.

W latach 2001-2004 prowadził także analizy bezpieczeństwa w zakresie modyfikacji wprowadzonych w elektrowni jądrowej Kozłoduj, a następnie analizę możliwości podniesienia bezpieczeństwa EJ Kozłoduj tak, aby mogła ona wytrzymać awarię rozerwania rurociągu obiegu pierwotnego o maksymalnej średnicy.

Swoje bogate doświadczenie prof. Strupczewski wykorzystał do promowania energetyki jądrowej jako bezpiecznego i ekologicznego źródła energii.

Opowiadał, jak podczas wędrówek w Górach Izerskich obserwował zniszczenia lasów spowodowane zanieczyszczeniem powietrza wynikającym ze spalania węgla. Te doświadczenia skłoniły go do stania się gorącym zwolennikiem energetyki jądrowej, która, jego zdaniem, zapewnia tanią energię elektryczną oraz czyste powietrze, glebę i wodę.

W 1992 r., chcąc obalić mit o rzekomo skażonej wodzie wypływającej z elektrowni jądrowych, prof. Strupczewski podczas wizyty w fińskiej elektrowni Loviisa na oczach kamer telewizyjnych wypił szklankę wody chłodzącej elektrownię, udowadniając jej czystość i brak radioaktywności.

Zaangażowanie Profesora w popularyzację wiedzy o energetyce jądrowej zaowocowało licznymi publikacjami naukowymi oraz popularnonaukowymi. Należy wspomnieć o takich książkach, jak: „Podstawy energetyki jądrowej” (współautor: prof. Z. Celiński), wydana przez WNT w 1984 r., „Awaryjne Reaktory a Bezpieczeństwo Energetyki Jądrowej” (wydana przez WNT w 1990 r.), „Nie bójmy się energetyki jądrowej” (wydana przez Stowarzyszenie Elektryków Polskich w 2010 r.) oraz „Zaufajmy Energetyce Jądrowej” (wydana przez Narodowe Centrum Badań Jądrowych we współpracy z PGE EJ1 w 2016 r.). Opublikował ponad 300 artykułów na temat energetyki jądrowej i zagadnień z nią związanych. Uzyskał 6 patentów, z czego jeden w 18 krajach. Prowadził wykłady na ponad 30 kursach szkoleniowych, z czego 15 poza Polską. Był współorganizatorem 10 edycji Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej. Jego działalność edukacyjna i polaryzacyjna miała ogromne znaczenie dla kształcenia kadr i szerzenia rzetelnej wiedzy o atomistyce w Polsce i na świecie.

Na koniec warto dodać, że Profesor był członkiem wielu organizacji naukowych, w tym: UNIPEDE NUCLE Komitet 1 (Energetyka Jądrowa) w latach 1980-1985, ISO TC-85 Nuclear Power Committee (1975-1985), Komitetu Nauk Radiacyjnych Polskiej Akademii Nauk (1986-1990), Komitetu Problemów Energetyki Polskiej Akademii Nauk (1990-1993), Stowarzyszenia naukowców dla rzetelnej informacji o promieniowaniu, Scientists for Accurate Radiation Information SARI od 2015 r., International Board of Advisors for Environmentalists for Nuclear od 2017 r. Był także członkiem założycielem Polskiego Towarzystwa Nukleonicznego oraz Stowarzyszenia Ekologów na Rzecz Energii Nuklearnej (SEREN), a w latach 1992-2014 członkiem Advisory/Editorial Board *Nuclear Engineering and Design* w zakresie wymiany ciepła, hydrauliki i bezpieczeństwa.

Za swoje zasługi otrzymał odznaczenia państwowe – Złoty Krzyż Zasługi, Krzyż Kawalerski i Krzyż Oficerski Orderu Odrodzenia Polski.

Prof. Andrzej Strupczewski pozostanie w naszej pamięci, jako niezwykle zasłużony naukowiec, ceniony nauczyciel akademicki oraz niestrudzony orędownik rozwoju energetyki jądrowej. Jego praca i dokonania

będą inspirować kolejne pokolenia inżynierów i naukowców.

Na koniec pragnę dodać, że miałem zaszczyt współpracować z prof. Andrzejem Strupczewskim przez kilkanaście lat w Instytucie Energi Atomowej, a potem w Narodowym Centrum Badań Jądrowych. Profesor był już doświadczonym ekspertem, ja dopiero zaczynałem swoją drogę zawodową. Mimo dzielącej nas różnicy pokoleń zawsze traktował mnie jak partnera do rozmowy, chętnie dzielił się swoją wiedzą i doświadczeniem, z ogromną cierpliwością i życzliwością wspierał młodszych kolegów. Jego otwartość, pasja i zaangażowanie były dla mnie nie tylko inspiracją, ale także dowodem na to, jak powinien wyglądać prawdziwy autorytet – nie tylko w dziedzinie nauki, ale i w codziennych relacjach.

Wspólna praca przy organizacji Międzynarodowej Szkoły Energetyki Jądrowej oraz innych projektach była dla mnie nieocenioną lekcją. Jestem wdzięczny za te wszystkie lata współpracy, rozmowy i wsparcie. Profesor pozostanie w mojej pamięci jako wybitny uczony, ale przede wszystkim jako niezwykle życzliwy i kontaktowy człowiek.

Łukasz Koszucki,
Warszawa

Informacje o karierze zawodowej i dorobku Profesora zostały opracowane na podstawie informacji, które otrzymałem od prof. Andrzeja Strupczewskiego w czasie naszej wspólnej pracy zawodowej.



ŻEGNAMY RYSZARDA SKOTNICKIEGO

(05.01.2025)

Ze smutkiem informujemy, że 5 stycznia 2025 r. po ciężkiej chorobie odszedł nasz Kolega Ryszard Skotnicki.

Przez prawie 50 lat związany z Katedrą Fizyki Materii Skondensowanej. Pracę na Akademii Górniczo-Hutniczej rozpoczął w 1971 r. w Instytucie Techniki Jądrowej (późniejszy Międzyresortowy Instytut Fizyki i Techniki Jądrowej) na stanowisku inżynierjno-technicznym najpierw, jako technik-stażysta, następnie technik

i starszy technik. Przez pierwsze lata był niezastąpionym wsparciem przy eksperymentach dyfrakcyjnych i magnetometrycznych w Zakładzie Fizyki Fazy Skondensowanej, jak też podczas pomiarów neutronowych w Instytucie Badań Jądrowych w Świerku.

W latach 1990-2010 odbył wiele dłuższych pobytów w ośrodkach synchrotronowych DESY w Hamburgu, a następnie w CERN w Genewie. Przed przejściem na emeryturę w 2019 r. służył swoimi cennymi umiejętnościami na Pracowni Fizycznej WFilS AGH.

Katedra Fizyki Materii Skondensowanej,
Akademia Górniczo-Hutnicza,
Kraków



PROF. DR HAB. EDWARD CHRUSCIEL

(07.04.1937 – 27.02.2025)

Ze smutkiem informujemy, że 27 lutego 2025 r. po długiej chorobie zmarł w wieku 87 lat prof. dr hab. Edward Chruściel. Był on długoletnim pracownikiem Międzyresortowego Instytutu Fizyki i Techniki Jądrowej, przekształconego na początku lat 90. w Wydział Fizyki i Techniki Jądrowej, a następnie w Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie.

Urodził się 7 kwietnia 1937 r. w Ropicy Polskiej koło Gorlic. Studia magisterskie ukończył w 1959 r. na Wydziale Matematyki, Fizyki i Chemii Uniwersytetu Jagiellońskiego. W tym samym roku rozpoczął pracę na AGH. W 1968 r. uzyskał stopień doktora, a w 1983 r. doktora habilitowanego, na podstawie rozprawy „Analiza promieniowania gamma z wychwyty radiacyjnego do

oceny wartości złóż surowców stałych”. W 1993 r. otrzymał tytuł naukowy profesora. Był wybitnym specjalistą w zakresie fizyki i geofizyki jądrowej oraz przemysłowych zastosowań izotopów promieniotwórczych. Od 1979 r. pełnił funkcję kierownika Zakładu Geofizyki Jądrowej, Międzyresortowego Instytutu Fizyki i Techniki Jądrowej, a od 1992 r. Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej AGH.

Jest autorem ponad 100 publikacji i 7 patentów. W trakcie swojej kariery wypromował wielu magistrów i doktorów. W pracy dał się poznać, jako świetny fachowiec, wspierający rozwój naukowy członków swojego zespołu.

Odnaczony Złotym Krzyżem Zasługi, Odznaką „Zasłużony dla Górnictwa Naftowego i Gazownictwa”, „Zasłużony dla Województwa Krosińskiego”, „Zasłużony w Rozwoju woj. Katowickiego”.

Akademia Górniczo-Hutnicza,
Kraków

Pierwszy Research Coordination Meeting w ramach projektu MAEA Mitigating Greenhouse Gases using Radiation Technology (F22080)

Warszwa, 10-14 marca 2025 r.



Uczestnicy Research Coordination Meeting



W trakcie spotkania reprezentanci poszczególnych państw członkowskich przedstawili swoje dotychczasowe prace w zakresie wykorzystywania technologii radiacyjnych

(fot. S. Wojtas, zob. więcej na str. 25)

Udział polskiego sektora konstrukcji stalowych w realizacji PPEJ

Warszawa, 19-20 listopada 2024 r.



Wystąpienie przedstawiciela Ministerstwa Przemysłu
Andrzeja Sidło



Uczestników seminarium wita Zbigniew Barłóg, prezes Polskiej
Izby Konstrukcji Stalowych



Uczestnicy spotkania