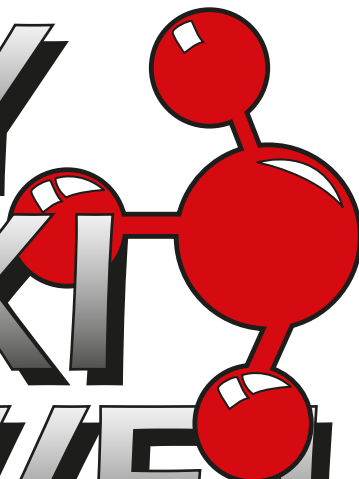


POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ



VOL. 65 Z. 4 ISSN 0551-6846 WARSZAWA 2022



UNIWERSYTET
IM. ADAMA MICKIEWICZA
W POZNANIU



**100 ROCZNICA PRYZNANIA MARI SKŁODOWSKIEJ-CURIE
DOKTORATU HONOROWEGO UNIWERSYTETU POZNAŃSKIEGO**

(czytaj na str. 2)

4-2022

INSTYTUT CHEMII I TECHNIKI JĄDROWEJ
POLSKIE TOWARZYSTWO NUKLEONICZNE

SPIS TREŚCI NR 4/2022

SETNA ROCZNICA PRYZNANIA

MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE DOKTORATU

HONOROWEGO UNIwersYTETU POZNAŃSKIEGO

Tomasz Pospieszny 2

ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE W 2022 ROKU

– PRÓBA PODSUMOWANIA

Andrzej Mikulski 9

TRANSPORT MATERIAŁÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Krzysztof Rzymkowski 14

DRUGA REWOLUCJA W KONSTRUKCJI LAMP

RENTGENOWSKICH

Grzegorz Jezierski 23

RADIOGRAFIA W OCHRONIE DZIEDZICTWA

KULTUROWEGO

Wojciech Głuszewski 31

DONIESIENIA Z KRAJU 36

DONIESIENIA ZE ŚWIATA 42

WYDARZENIA 44

LIST

Jacek Baurski 50

INFORMACJE O KSIĄŻKACH

JAK POWSTAJE NOWOCZESNA TEORIA NAUKOWA?

Krzysztof Rzymkowski 52

FELIETON

CZY MOŻNA WIERZYĆ SPECJALISTOM?

Wiktor Niedzicki 54

I TY MOŻESZ ZOSTAĆ ...?

Marek Bielski 55



Kwartalnik naukowo-informacyjny
Postępy Techniki Jądrowej

Wydawca:

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

Kontakt Telefoniczny:

Tel. 22 504 12 48

Fax.: 22 811 15 32

Redaktor naczelny:

Stanisław Latek

S.Latek@ichtj.waw.pl

Komitet redakcyjny:

Wojciech Głuszewski

Marek Rabiński

Łukasz Sawicki

Elżbieta Zalewska

Współpracują z nami:

Marek Bielski

Andrzej Mikulski

Małgorzata Nowina-Konopka

Małgorzata Sobieszczak-Marciniak

Redakcja:

PTJ-redakcja@ichtj.waw.pl

Adres strony internetowej PTJ:

<http://ptj.waw.pl>

Opracowanie graficzne:

Daniel Jaskóła (Agencja Reklamowa TOP)

Zastrzegamy sobie prawo skracania i adjustacji
tekstów oraz zmian tytułów.

Recenzowanie artykułów

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

Prenumerata

Zamówienia na prenumeratę kwartalnika

POSTĘPY TECHNIKI JĄDROWEJ

należy składać na adres redakcji jak wyżej.

Wpłaty proszę przekazać na konto:

Bank Pekao SA,

45 1240 3480 1111 0000 4278 2935

Koszt prenumeraty rocznej

(4 zeszyty łącznie z kosztami przesyłki) wynosi 52 zł.

Składając zamówienie należy podać adres osoby

lub instytucji zamawiającej, na który

ma być przesłane czasopismo oraz numer NIP.

Skład i druk:

Agencja Reklamowa TOP,

ul. Chocimska 4, 87-800 Włocławek

Szانونi Państwo

Pierwszy artykuł w bieżącym numerze naszego kwartalnika poświęciliśmy **Marii Skłodowskiej-Curie i Jej Wnuczce H    e Langevin-Joliot**.

We wstępie pisze autor artykuł: „Maria Skłodowska-Curie należy do grona najwybitniejszych uczonych wszechczas  . Odkrycie przez ma  onk  w Curie w 1898 r. polonu i radu sprawiło, że wskazali oni zupelnie nowa drog   badania materii. Ugruntowane wcześniej teorie, m  wiace o niepodzielności atomu, nie wytrzymały próby czasu. Maria Skłodowska-Curie nale  za także do osób wyprzedzajacych epok  , w której przyszło jej żyć. 14 czerwca 1900 r. pierwszy raz w historii powiedziała, że atom jest nietrwały.[...] Wykazała się prawdziwa dalekowzrocznością i ogromną odwag  . Z kolei w 1902 r., w jednej ze swoich prac, wyraziła przypuszczenie istnienia cząstek pozbawionych ładunku elektrycznego. Neutrony, bo tak dzi  s je nazywamy, zostały odkryte trzydzieści lat później przez Jamesa Chadwicka. Bez wątpienia Maria Skłodowska-Curie była pionierk   nauki o radioaktywności, tw  rczyni   nowej ga  zi nauki – radiochemii, a wraz z mężem Piotrem Curie współtwórczynią radioterapii. Była pierwszą kobiet  , której przyznano Nagrod   Nobla najpierw z fizyki w 1903 r., a w 1911 r. z chemii”.

W 1922 r. Senat Uniwersytetu Poznańskiego nada   godno  c doktora honorowego Marii Skłodowskiej-Curie. Uczona była pierwszym doktorem honorowym poznańskiej uczelni. Niestety z różnych przyczyn nie przyjechała do Poznania i nie odebrała dyplomu. Po stu latach z inicjatywy pracowników Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu przekazano dyplom doktoratu honorowego wnuczce Uczonej prof. H    e Langevin-Joliot. Uroczysto  c została objęta patronatem Jej Magnificencji Rektorki prof. Bogumiły Kaniewskiej i honorowym patronatem Prezydenta Miasta Poznania Jacka Jaśkowiaka.

Uroczysto  c szczeg  lowo opisuje prof. Tomasz Pospieszny.

Kolejny artykuł dotyczy **energetyki jądrowej**. Tekst dr. Andr  eja Mikulskiego stanowi próbę podsumowania, co wydarzyło się w energetyce jądrowej w Polsce do końca listopada 2022 r. Ofert   na budow   pierwszej elektrowni z    y   koncern EDF ju  z w październiku 2021 r., podobną ofertę z    y  a koreańska firma KHNP w kwietniu 2022 r., a na ofertę firmy Westinghouse czekaliśmy do połowy września br. Potem ocena ich potoczyła się błyskawicznie i ju  z 2 listopada br. r  d zaakceptowa   ofertę ameryka  nsk  . Kilka dni wcześniej podpisane zostało w ekspresowym tempie memorandum z koreańską firm   KHNP na się budow   drugiej elektrowni w Zespole Elektrowni Pątnów-Konin-Adamów, tym samym rezygnując z planowanej tam wcześniej budowy małych reaktorów modułowych. W artykule podano także szereg innych ciekawych informacji.

Energetyka jądrowa to tylko jedna częśc technologii jądrowej. Trzy kolejne artykuły nie dotyczą energetyki, lecz zdecydowanie mieszcz  a się w obszarze postępów techniki jądrowej.

Dr Krzysztof Rzymkowski w swoim tekście przedstawi   różne rodzaje i sposoby **transportu materia  w promieniotwórczych** zalecane przez wymagania ochrony radiologicznej i międzynarodowe organizacje transportowe.

Grzegorz Jezierski pisze o **rewolucji w konstrukcji lamp rentgenowskich**. Przedstawia najnowsze osiągnięcia w konstrukcji lamp rentgenowskich, które można określić drugą rewolucj  . Mianowicie podstawowy problem, jaki stwarzają dotychczasowe rozwizania wynikające ze stosowania termicznego   r  d   elektronów (m.in. problem ch  dzenia, sterowania prac   lampy) zosta   rozwiązany poprzez wykorzystanie nanotechnologii do konstrukcji innowacyjnych źródeł elektronów w oparciu o emisj   polową (nanorurki w  g  owe czy mikro-ostrza).

O **radiografii w ochronie dziedzictwa kulturowego** pisze dr Wojciech Głuszewski. Metody radiograficzne pozwalają za pomocą promieniowa   X oraz gamma (  ) wykrywa  c wewnętrzną niezgodności w całej objętości materiału. W zasadzie nie ma ograniczeń, co do rodzaju badanych obiektów. Warunkiem jest jedynie dostęp do dwóch stron napromieniowywanego przedmiotu lub konstrukcji. Alternatyw   dla analogowych, błonowych technik radiograficznych jest radiografia cyfrowa. O jakości obrazu i dawce poch  nianej decyduje technologia przetwarzania promieniowania hamowania na sygnał cyfrowy. Postęp w radiografii stymulowany jest gównie przez zastosowania medyczne i przemysłowe. Z nowych rozwizania mog   korzysta  c również konserwatorzy dzieł sztuki. Du   rolę w upowszechnianiu techniki jądrowych w identyfikacji i konserwacji obiekt   istotnych dla dziedzictwa kulturowego odgrywa Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA). W artykule omówiono niektóre aspekty zastosowania radiografii w muzealnictwie dyskutowane

w trakcie konferencji MAEA zorganizowanej w Narodowym Muzeum Wojny na Malcie.

W dziale doniesień znajdują się ciekawe informacje, z których dwie poniżej wymieniono.

O **polskich sukcesach w programie Euratom** napisała Aneta Maszewska. W czerwcu br., Komisja Europejska podpisała 28 nowych umów o udzielenie dotacji, na   ecn   kwotę 100 mln euro oraz umowy na uruchomienie 2 partnerstw, w ramach programu Euratom na lata 2021-2025. Był to pierwszy konkurs w tym programie, w obecnej perspektywie finansowej. Zwycieskie projekty przyczyni   się do poprawy bezpieczeństwa jądrowego, usprawni   gospodark   odpadami promieniotwórczymi, przynios   nowe zastosowania technologii jądrowych poza energetyk   oraz zwiększą skal   wykorzystania promieniowania jonizującego w medycynie.

Polskie Noble 2022. Po raz kolejny Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej przyznała indywidualne nagrody za wybitne osiągnięcia i odkrycia naukowe. Polskie Noble przyznawane są w czterech obszarach: nauk o życiu i o Ziemi, nauk chemicznych i o materiałach, nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich oraz nauk humanistycznych i społecznych. Polskich Noblistów przedstawi   autor doniesienia dr Wojciech Głuszewski.

Do wydarzeń zakwalifikowano tym razem kilka pozycji. Oto omówienia – i tytuły – niektórych z nich.

40-lecie Państwowej Agencji Atomistyki. Uroczystości jubileuszowe Państwowej Agencji Atomistyki (PAA) odbyły się w dniu 17 października 2022 r. w Warszawie. W obchodach uczestniczy   przedstawiciele Rady Ministrów na czele z ministrem klimatu i   rodowiska Ann   Moskw   oraz sekretarzem stanu, pełnomocnikiem R  adu ds. Strategicznej Infrastruktury Energetycznej Mateuszem Bergerem, instytucji wsp  pracuj  cych z PAA, a także byli oraz obecni pracownicy Agencji.

55 lat Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie. We wstępie do swojego doniesienia pisze autorka: „Min  o 155 lat od urodzin dwukrotnej laureatki Nagrody Nobla i odkrywczynie dwóch pierwiastków: polonu i radu – Marii Skłodowskiej-Curie. Uczona dała początek chemii pierwiastków promieniotwórczych – radiochemii. W jej pionierskich pracach mają swoje   r  d   fizyka i chemia jądrowa, a badania i odkrycia stanowi   podstawy współczesnej onkologii.   yciorys i dokonania uczzonej prezentuje od 55. lat Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie, otwarte w setną rocznicę urodzin, w domu jej urodzenia, przy ul. Freta 16”.

Na kolejnych stronach prezentowanego numeru PTJ zamieszczamy kserokopj   listu do Anny Moskw  , ministra klimatu i   rodowiska. Autorem listu jest zatroskany o realizacj   Polskiego Programu Energetyki Jądrowej inż. Jacek Burski. Jacek Burski jest członkiem Komitetu Naukowo – Technicznego NOT, członkiem Honorowym PTN, członkiem SEP i SEREN.

O kolejnej książce, którą warto przeczyta   napisa   Krzysztof Rzymkowski (tytuł książki „*Piękno Wszechświata*”). Jak pisze autor „książka Briana Greene interesując przedstawia etapy tworzenia teorii naukowej i daje szeroki obraz poszukiwa   sposobów rozwizywania pojawiających się problemów”.

Wiktor Niedzicki napisa   felieton: Czy można wierzy   specjalistom? Oto jego fragment: „Prosty język, ciekawe, zrozumiałe przykłady, fascynujące opowieści z historii nauki mają szans   porwa  c odbiorców. A odbiorca, który zakocha się w fizyce, odbiorca, który zajrzał do podręcznika, będzie mniej skłonny wierzy   antyszczepionkowcom, anty 5G, p  askoziemcom i zwolennikom spisków”.

Publikujemy również drugi felieton: I ty możesz zosta  c...?? Autorem jest Marek Bielski, który stoi na stanowisku, że „... jednak łatwiej w Polsce o cała flotyll   małych fiacik  w, w ostateczności może być i polska elektryczna Izero, ni   o rozpoczęcie w najbliższym terminie budowy elektrowni jądrowej w Polsce”.

Na ostatnich stronach czasopisma publikujemy fotorelacje z dwóch wydarzeń takich jak 100 rocznica przyznania Marii Skłodowskiej-Curie doktoratu honorowego Uniwersytetu Poznańskiego oraz Jubileusz 40-lecia Państwowej Agencji Atomistyki.

Zapraszam do lektury wszystkich publikowanych tekstów!

Czytelnikom     c spokojnych, wesołych, spędzonych w rodzinnej atmosferze   wi  t Bożego Narodzenia i S  cz  liwego Nowego Roku! Ponadto     c łagodnej zimy i – konsekwentnie, jak co kwartał – zakończenia wojny na Ukrainie.

Stanisław Latek,
redaktor naczelny

SETNA ROCZNICA PRYZNANIA MARII SKŁODOWSKIEJ-CURIE DOKTORATU HONOROWEGO UNIwersYTETU POZNAŃSKIEGO

The 100th anniversary of awarding an honorary doctorate to Maria Skłodowska-Curie at the University of Poznań

Tomasz Pospieszny

Streszczenie: W 1922 r. Senat Uniwersytetu Poznańskiego nadał godność doktora honorowego Marii Skłodowskiej-Curie. Uczona była pierwszym doktorem honorowym poznańskiej uczelni. Niestety z różnych przyczyn nie przyjechała do Poznania i nie odebrała dyplomu. Ze wspomnień prof. Adama Wrzosek wiadomo, że dyplom nigdy nie został nawet wydrukowany. Po stu latach z inicjatywy pracowników Wydziału Chemii Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu przekazano dyplom doktoratu honorowego wnuczce Uczonej prof. Hélène Langevin-Joliot. Uroczystość została objęta patronatem Jej Magnificencji Rektorki prof. Bogumiły Kaniewskiej i honorowym patronatem Prezydenta Miasta Poznania Pana Jacka Jaśkowiaka.

Abstract: In 1922, the Senate of the University of Poznań awarded the title of Honorary Doctor to Maria Skłodowska-Curie. The scientist was the first honorary doctor of the Poznań University. Unfortunately, for various reasons, she did not come to Poznań and did not receive her diploma. From the memoirs of professor Adam Wrzosek it is known that the diploma was never even printed. After one hundred years, at the initiative of the employees of the Faculty of Chemistry, University of Adam Mickiewicz in Poznań, the scientist's granddaughter, professor Hélène Langevin-Joliot, received an honorary doctorate diploma. The ceremony was held under the patronage of Her Magnificence Rector prof. Bogumiła Kaniewska and the honorary patronage of the President of the City of Poznań, Mr. Jacek Jaśkowiak.

Słowa kluczowe: Maria Skłodowska-Curie, Hélène Langevin-Joliot, Adam Wrzosek, doktorat *honoris causa*, Wydział Chemii, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu.

Keywords: Marie Skłodowska-Curie, Hélène Langevin-Joliot, Adam Wrzosek, honorary doctorate, Faculty of Chemistry, University of Adam Mickiewicz in Poznań.

Maria Skłodowska-Curie należy do grona najwybitniejszych uczonych wszechczasów. Odkrycie przez małżonków Curie w 1898 r. polonu i radu sprawiło, że wskazali oni zupełnie nową drogę badania materii. Ugruntowane wcześniej teorie, mówiące o niepodzielności atomu, nie wytrzymały próby czasu [1]. Maria Skłodowska-Curie należała także do osób wyprzedzających epokę, w której przyszło jej żyć. 14 czerwca 1900 r. pierwszy raz w historii powiedziała, że atom jest nie-trwały. Mówiła wówczas:

„Teoria materialistyczna promieniotwórcza zdaje dobrze sprawę z zauważonych dotąd zjawisk. Jednakże, jeżeli ją przyjmujemy, musimy uznać, że materia promieniotwórcza nie jest w stanie chemicznym zwykłym. Atom w tym przypadku nie jest niezmienny i niepodzielny, skoro cząsteczki jego są wypromieniowywane. Materia promieniotwórcza ulega przemianie chemicznej, i ta to przemiana

na jest źródłem energii promieniotwórczości; ale nie jest to przemiana chemiczna zwykła, gdyż tutaj sam atom ulega zmianie. Jest zresztą widoczne, że jeżeli promieniotwórczość wynika z przekształcenia się materii, to przekształcać się tutaj musi sam atom, skoro promieniotwórczość jest zjawiskiem atomowym”[2].

Wykazała się prawdziwą dalekowzrocznością i ogromną odwagą. Z kolei w 1902 r., w jednej ze swoich prac, wyraziła przypuszczenie istnienia cząstek pozbawionych ładunku elektrycznego. Neutrony, bo tak dziś je nazywamy, zostały odkryte trzydzieści lat później przez Jamesa Chadwicka [3]. Bez wątpienia Maria Skłodowska-Curie była pionierką nauki o radioaktywności, twórczynią nowej gałęzi nauki – radiochemii, a wraz z mężem Piotrem Curie współtwórczynią radioterapii. Była pierwszą kobietą, której przyznano Nagrodę Nobla najpierw z fizyki w 1903 r., a w 1911 r. z chemii, jako

jedyna kobieta jest jej podwójną laureatką, jako jedyny człowiek otrzymała ją w dwóch różnych dyscyplinach naukowych. Była pierwszą kobietą profesorem nauk ścisłych na Sorbonie. Była jedną z pierwszych kobiet, które weszły na Rysy, jako jedna z pierwszych zrobiła prawo jazdy, jako jedyna kobieta uczestniczyła w prestiżowych konferencjach Solvaya do czasu, aż w 1933 r. dołączyła do niej córka Irena Joliot-Curie i austriacka fizyczka Lise Meitner. Jest pierwszą cudzoziemką spoczywającą w paryskim Panteonie.

Pracowała w świecie nauki zdominowanym przez mężczyzn. Jeden z biografów Uczzonej Robert Reid napisał: *„W swoim czasie była kimś wyjątkowym na polu nauki po prostu, dlatego, że była kobietą. Dopóki nazwisko Marii Curie nie pojawiło się w nagłówkach gazet, nie było w istocie kobiety, która wniosłaby tak znaczący wkład w badania naukowe. Podchodziła do spraw swojego zawodu tak samo jak inni wykonujący go ludzie, a tak się złożyło, że byli to wtedy bez wyjątku mężczyźni. Nie oczekiwała od nich jakichkolwiek ulg czy ustępstw i nikt jej zresztą żadnych ustępstw nie czynił. Wytrzymała wszystko, ponieważ udało jej się przekonać mężczyzn, że mają do czynienia nie tylko z kimś równym sobie, lecz raczej z kimś, komu niełatwo dorównać”* [4]. Pomimo tych trudności udowodniła, że jeśli kocha się naukę można osiągnąć bardzo wiele...

Nie bez powodu, więc Uniwersytet Poznański postanowił nadać uczzonej godność doktora *honoris causa*. Należy podkreślić, że Maria Skłodowska-Curie była pierwszą osobą, która dostąpiła tego zaszczytu na poznańskiej uczelni.

Inicjatywa podjęcia uchwały nadającej najwyższą godność uczelni należała do Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Poznańskiego. Uchwała została zatwierdzona przez Senat Akademicki 15 grudnia 1922 r. Dziekanem Wydziału Lekarskiego był wówczas chirurg prof. Adam Wrzosek (1875–1965). Wrzosek był jednym z twórców Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Poznańskiego, a w latach 1920–1922 jego pierwszym dziekanem. Był także założycielem Zakładu Historii Medycyny i Zakładu Antropologii Uniwersytetu Poznańskiego. Należał do niezwykle cenionych uczonych, o czym może świadczyć fakt, że poza Uniwersytetem Poznańskim wykładał także na uniwersytetach: Jagiellońskim, Warszawskim i Wileńskim. Profesor Wrzosek pasjonował się także historią medycyny i życiem wybitnych polskich uczonych. Jest autorem biografii między innymi Jędrzeja Śniadeckiego, Karola Marcinkowskiego i Tytusa Chałubińskiego. Warto też podkreślić, że uczony był redaktorem pierwszej kroniki Uniwersytetu Poznańskiego [5]. To właśnie staraniem prof. Wrzoska powiadomiono Marię Skłodowską-Curie o nadaniu doktoratu honorowego. Wrzosek w pamiętnikach datowanych na 17 lutego 1940 r. napisał:

„Za mego dziekaństwa na Wydziale Lekarskim w Uniwersytecie Poznańskim, w pierwszych trzech latach istnienia tego Wydziału, Skłodowska-Curie została wybrana na honorowego doktora medycyny.

Zawiadamiając ją o tym, zapytywałem, czy mam jej posłać dyplom, czy może przyjedzie na uroczystą promocję doktorską. Odpisała mi, że postara się przyjechać do Poznania, skoro jej tylko okoliczności pozwolą. Wówczas napisałem powtórnie do niej, prosząc, aby się zatrzymała u nas, gdy do Poznania przybędzie, i zapytując kiedy mogę się spodziewać jej przyjazdu. Odpowiedziała, że terminu przyjazdu nie może oznaczyć. Wobec tego na razie dyplomu dla niej nie polecałem drukować. Po moim ustąpieniu z dziekanatu, moi następcy zapomnieli zdaje się o tej rzeczy, choć im powinna była przypominać ją fotografia Skłodowskiej-Curie z jej własnoręcznym podpisem, przysłana dla Wydziału Lekarskiego na moją prośbę i na moje ręce, a zawieszona w Dziekanacie tego Wydziału.

Do promocji więc nie doszło i nie doszło również do wydrukowania dyplomu.

Marię Skłodowską-Curie widziałem tylko raz w życiu. Było to na kilka lat przed jej śmiercią.

Przyjechała do Warszawy w związku z organizującym się Zakładem jej imienia, a przy tej sposobności miała wygłosić w Uniwersytecie Warszawskim wykład, jako profesorka honorowa tego Uniwersytetu. Będąc wówczas w Warszawie wybrałem się na jej wykład w auli uniwersyteckiej, która naturalnie była wypełniona po brzegi publicznością.

Wśród ciszy wszedł do auli rektor Krzyształowicz, prowadząc pod rękę dostojną prelegentkę. Na podium wchodziła wolno siwowłosa, lekko przygarbiona staruszka w dużych okrągłych okularach, wyglądająca na babkę licznych wnucząt.

Wykład był suchy, wygłoszony cichym monotonnym głosem, zrozumiały chyba tylko dla specjalistów. Ani śladu pozy. Skromność uosobiona.

Tak wyglądała w rzeczywistości prometejska wielkość. Duch wielki, a ciało mdłe” [6].

Według prof. Anny Marciniak z Instytutu – Obserwatorium Astronomicznego w Poznaniu oryginał listu Marii Skłodowskiej-Curie do dziekana Wydziału Lekarskiego prof. Adam Wrzosek przekazał do akt uniwersyteckich, gdzie *„dokument ten spoczywał pewnie przynajmniej do roku 1939. Sobie natomiast pozostawił jedynie kopertę, zaadresowaną ręką uczzonej – noblistki. Nie wiadomo natomiast, co stało się z fotografią uczzonej, z jej podpisem, która w okresie międzywojennym ozdabiała gabinet dziekana Wydziału Lekarskiego Uniwersytetu Poznańskiego”* [6].

Po stu latach od tego wydarzenia z inicjatywy prof. UAM dr. hab. Tomasza Pospiesznego oraz dr. Iwony Taborskiej z Wydziału Chemii UAM przy udziale Władz Dziekańskich Wydziału Chemii oraz Władz Rectorskich

UAM postanowiono przekazać dyplom honorowy wnuczce Uczonej, znanej fizycze jądrowej, prof. Hélène Langevin-Joliot. Uroczystość została objęta patronatem Jej Magnificencji Rektorki prof. Bogumiły Kaniewskiej i honorowym patronatem Prezydenta Miasta Poznania Pana Jacka Jaśkowiaka.

Z Paryża przyjechała wnuczka Uczonej – Pani prof. Hélène Langevin-Joliot wraz z dyrektorem Musée Curie Panem Renaud Huynh i jego zastępczynią Panią dr Natalie Pigeard-Micault. Z Seattle (USA) przyjechała prawnuczka Heleny Skłodowskiej-Szalay (siostry Marii) Pani Hanna Karczewska z mężem Mateuszem, natomiast z Krakowa prawnuk Józefa Skłodowskiego (brata Marii) Pan dr inż. Piotr Chrzastowski. Zaproszeni zostali także prawnuczka Józefa Skłodowskiego Pani Jadwiga Chrzastowska oraz Pan prof. Jerzy Niewodniczański. Niestety z przyczyn osobistych nie mogli uczestniczyć w uroczystościach.

Profesor Hélène Langevin-Joliot jest córką laureatów Nagrody Nobla z 1935 r. – Irène i Frédérica Joliot-Curie.

Jest profesorem fizyki jądrowej w Instytucie Fizyki Jądrowej na Uniwersytecie Paryskim i emerytowanym dyrektorem ds. badań w Centre National de la Recherche Scientifique. W pierwszych latach kariery naukowej badała spektroskopię jądrową i interesowała się eksperymentami nad niezachowaniem zasady parzystości. Później skupiła się nad badaniem reakcji jądrowych, które stały się dostępne dzięki akceleratorom w Instytucie Fizyki Jądrowej w Orsay. Profesor Langevin-Joliot była członkiem Rady Naukowej CNRS i przewodniczącą jej sekcji Fizyki Jądrowej, członkiem pierwszej Rady Naukowej Parlamentarnego Biura ds. Decyzji Naukowych i Technologicznych. Wiele uwagi i energii poświęciła na tworzenie i rozbudowę archiwów Association Curie et Joliot-Curie utworzonego w 1959 r. i Musée Curie w Paryżu, które powstało w 1964 r.

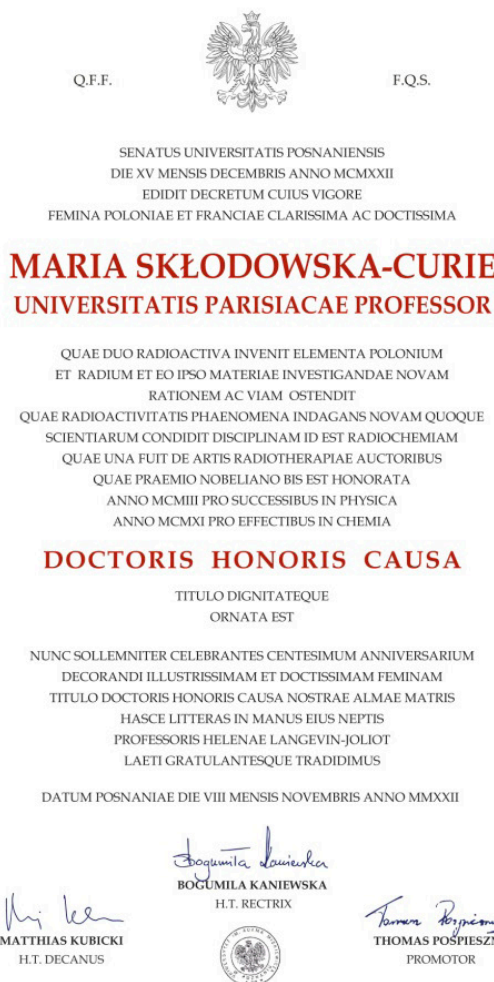
Podczas oficjalnego przekazania dyplomu, które odbyło się 8 listopada br. w Sali Lubrańskiego Collegium Minus, Jej Magnificencja Rektorka prof. Bogumiła Kaniewska mówiła:

„Tytuł doktora honoris causa jest najwyższą godnością akademicką i nadawany jest osobom szczególnie zasłużonym dla rozwoju nauki, kultury lub życia społecznego.

Zgromadziliśmy się dzisiaj na uroczystości poświęconej osobie zasłużonej we wszystkich tych obszarach, naukowcy wyprzedzającej swoje czasy, mającej wpływ na wiele obszarów nauki – Marii Skłodowskiej-Curie. Uroczystość ma formę niezwykłą, gdyż sięgamy dzięki niej do ponad stuletniej historii naszej uczelni. Na przestrzeni tych lat najwyższy tytuł honorowy przyznano blisko 150 osobom. Pierwszego dyplomu jednak nigdy nie odebrano, a nawet go nie wydrukowano.

Dzisiejsza bohaterka wyróżniona została tytułem doktora honoris causa sto lat temu – dokładnie 15 grudnia 1922 r. i było to pierwsze wyróżnienie przyznane przez rozwijający się dopiero wówczas w międzywojennej Polsce Uniwersytet Poznański. Utworzenie uczelni wyższej w stolicy Wielkopolski – jeszcze wtedy w formie Wszechnicy Piastowskiej – było niezwykle ważne dla regionu i miasta, a wsparli je profesorowie z Krakowa, Lwowa, Wilna i Warszawy. Pierwszym rektorem został „ojciec-założyciel” – prof. Heliodor Święcicki, który miał znaczący wpływ na początkowe funkcjonowanie uczelni, w tym przyznanie pierwszych tytułów doktora honorowego. W 1920 r. zmieniono nazwę naszej uczelni na Uniwersytet Poznański.

Uchwalony 28 stycznia 1921 r. pierwszy Statut Uniwersytetu Poznańskiego, wyliczając kompetencje Senatu, wskazywał na zatwierdzenie honorowych stopni naukowych. Wnioski w procedurze składały rady wydziałów. W przypadku Marii Skłodowskiej-Curie tak też się stało i 6 grudnia 1922 r. wpłynął stosowny dokument Rady Wydziału Lekarskiego do Senatu ówczesnego Uniwersytetu. Już 15 grudnia 1922 r. organ ten powziął uchwałę przyznającą honorowy tytuł. [...]



Fot.1. Faksymile dyplomu doktora honoris causa dla Marii Skłodowskiej-Curie

Photo 1. Facsimile of Maria's honorary doctorate

Dziś możemy śmiało powiedzieć, że [Maria Skłodowska-Curie] wyprzedzała swoją epokę. Była ikoną czasu emancypantek. Torowała drogę do sukcesu dla wielu kobiet, bo w ówczesnym świecie nie było im łatwo. [...] Cieszę się, że nasz Uniwersytet, już na samym początku jego funkcjonowania, przyznał tak wybitnej postaci swoją najwyższą godność i docenił jej działalność. [...]

Dzisiaj nadrabiamy zaległość w zakresie wyróżnienia naszej laureatki – Marii Skłodowskiej-Curie. Wydrukowany dyplom odebrany zostanie przez Jej wnuczkę, francuską fizyczkę, córkę Irène Joliot-Curie – prof. Hélène Langevin-Joliot.

Wyróżnienie, które dzisiaj mam zaszczyt wręczyć, jest wyrazem wdzięczności i szacunku dla osiągnięć Marii Skłodowskiej-Curie. Bez jej dokonań dzisiejsza chemia, fizyka, ale też medycyna i inne nauki przyrodnicze nie wyglądałyby w taki sposób, jak wyglądają. Jej odkrycia miały wpływ na życie milionów ludzi, a wiąże się to też z faktem, iż istotnym punktem działalności zarówno Marii Skłodowskiej, jak i jej męża, Pierre'a Curie, również wybitnego naukowca i laureata Nagrody Nobla, była chęć dzielenia się efektami swoich badań”.

Następnie głos zabrała dziekan Wydziału Chemii UAM prof. Renata Jastrząb, która powiedziała między innymi:

„Po raz pierwszy w Polsce doktorat honoris causa został nadany Marii Skłodowskiej-Curie na Uniwersytecie Poznańskim, był to także pierwszy tytuł honorowy jaki został przyznany na dopiero co utworzonym Uniwersytecie. Młody, ale niezwykle prężny i ambitny Uniwersytet już wtedy nie ustępował miejsca tak znamienitym jednostkom akademickim jak Uniwersytet Jagielloński czy Politechnika Warszawska, które również przyznały Uczonej godność doktora honorowego. Niestety z różnych względów doktorat nigdy nie został odebrany i Maria nigdy nie miała możliwości gościć w murach naszej uczelni ani też w Poznaniu. Stąd ogromna radość całej społeczności akademickiej, że w 100 rocznicę przyznania najwyższej godności uniwersyteckiej możemy uroczystie przekazać dyplom również znamienitej badaczce, wnuczce Marii Pani prof. Hélène Langevin-Joliot. Przez ponad sto lat na naszym uniwersytecie przyznano godność doktora honorowego 144 wybitnym postaciom w tym 6 Noblistom. W gronie wybitnych znalazło się aż a może tylko 20 chemików, ale aż troje z nich to laureaci Nagrody Nobla. Można śmiało powiedzieć, że wysoki poziom jaki został postawiony na samym początku przyznaniem tytułu doktora honoris causa noblistce Marii Skłodowskiej Curie staramy się podtrzymywać do dziś. Na uwagę zasługuje fakt, że ostatni tegoroczny doktor honorowy z chemii to również noblista Jane Marie Lehn. Każda z tych uroczystości dla społeczności uniwersyteckiej a zwłaszcza dla rodziny che-

micznej to ogromne święto. To również ogromne święto dla wszystkich naukowców, dla których Maria jest symbolem ogromnej determinacji w realizacji swoich marzeń w niezwykle trudnych czasach, w których nie było miejsca dla kobiet w świecie naukowym”.

Wygłaszając laudację prof. Tomasz Pospieszny powiedział:

„Maria Skłodowska-Curie była wyjątkową postacią w świecie nauki. Była orędowniczką i pasjonatką wielu koncepcji badawczych, o których zawsze mówiła i których broniła. Kiedyś powiedziała:

»Uczony jest w swojej pracowni nie tylko technikiem, lecz również dzieckiem wpatrzonym w zjawiska przyrody, wzruszające jak baśń czarodziejska«.

Ośmielę się stwierdzić, że dzięki pracy i pasji Marii Skłodowskiej-Curie tysiące ludzi postanowiło wejść na piękną i tajemną ścieżkę fizyki i chemii, aby wpatrywać się w ową baśń czarodziejską. Mam szczęście być jednym z nich.

Praca Marii Skłodowskiej-Curie ma wciąż wpływ na nasze życie. Dzięki Jej bezinteresownemu oddaniu żyjemy w świecie tworzonym przez piękno nauki. [...] Dzięki Marii Skłodowskiej-Curie poznajemy najpiękniejsze oblicze Matki Natury.

Maria Skłodowska-Curie w życiu zawsze była wierna dążeniu do prawdy, pracowitości i szacunku dla innych. Znamienne słowa, i jakże aktualne, wypowiedziane po Jej śmierci przez Alberta Einsteina mogą być przesłaniem dla nas wszystkich:

»Jej siła, czystość charakteru, surowość wymagań wobec siebie samej, obiektywizm, nieskazitelne poglądy, wszystkie te cechy były tak wysokiego gatunku, że rzadko spotyka się je razem, połączone u jednej osoby. Stale uważała, że jest w służbie społeczeństwa, a jej wyjątkowa skromność nie dopuszczała pochlebstw. Gdyby zaledwie niewielka część siły charakteru i oddania Pani Curie były żywe wśród europejskich intelektualistów, Europę czekałaby jaśniejsza przyszłość«.

Jestem niezmiernie szczęśliwy, że sto lat po przyznaniu przez Senat Uniwersytetu Adama Mickiewicza godności doktora honoris causa Marii Skłodowskiej-Curie, mogę uczestniczyć w tym niezwykle wyjątkowym wydarzeniu i dziś przekazać dyplom doktora honoris causa na ręce wnuczki Uczonej, prof. Hélène Langevin-Joliot”.

Po uroczystym odczytaniu łacińskiej treści dyplomu przez prof. Pospiesznego, wzruszona ceremonią prof. Hélène Langevin-Joliot podkreślała, że Maria Skłodowska-Curie była osobą niezwykle skromną. Mówiła:

„Jestem niezwykle poruszona i wzruszona tą ceremonią i tym wszystkim, co tutaj słyszałam na temat Marii Skłodowskiej-Curie. [...] Była niezwykle skromna, ale i niezwykle świadoma. Była osobą, dla której bardzo ważne było, aby szanować innych.

Chciałabym się także podzielić moimi wspomnieniami o Marii Skłodowskiej-Curie. Często mówi się, że poświęciła się dla nauki. Uważam, że to nie jest najlepsze słowo. Można powiedzieć lepiej, że oddała swoje życie nauce, ale nie było tam elementu ciężkiego poświęcenia. Owszem, musiała zmierzyć się z licznymi trudnościami, ale zawsze, mimo tego, że była naukowczynią, zawsze była bardzo oddaną matką i zawsze pamiętała o swojej rodzinie, którą stawiała bardzo wysoko.

Czasami przyglądam się temu, co się dzieje obecnie na świecie. Mimo, że sama już od dłuższego czasu jestem na emeryturze, to staram się być z wszystkim na bieżąco i przyglądam się temu, co się dzieje w świecie nauki. I zastanawiam się, co powiedziała by Maria Skłodowska-Curie widząc, w jakim kierunku rozwija się nauka. Jakie byłoby jej zdanie na temat metod, które używa się dziś na świecie? [...] Myślę, że niezwykle ważne dla niej było to, żeby nauka, koncepcje, metody, które się wypracowuje na przestrzeni wielu lat mogły tworzyć strukturę, która tworzy dziedzictwo narodowe, dziedzictwo światowe, które służy całej ludzkości.

Myślę też, że nie będę w błędzie mówiąc, że Maria Skłodowska-Curie podkreśliłaby jak niezwykle ważna jest rola

wiedzy w tym, aby służyć wolności i emancypacji zarówno kobiet jak i mężczyzn. Oczywiście równie ważna jest rola użytkowa wiedzy, to, co ona pozwala nam odkrywać, ale sądzę, że dla Marii Curie nie była to rola najważniejsza. Wiedza jest ważna, aby służyć wolności ludzi.

W laboratorium Marii Curie pracowały kobiety, jako laborantki, pracownice techniczne. [...] Myślę, że nigdy nie dość podkreślać ten fakt, że aby nauka się rozwijała należy angażować zarówno kobiety jak i mężczyzn."

Podsumowując swoje wspaniałe wystąpienie prof. Langevin-Joliot powiedziała: „Myśląc o Marii Curie przychodzi mi na myśl to jak ważna była w jej życiu nauka, jak ważne było nadanie struktury w nauce, ale też to, by nauka służyła ludzkości i kobiety mogły istnieć w świecie naukowym."

9 listopada na Wydziale Chemii UAM odbył się wernisaż wystawy pod tytułem „Maria Skłodowska-Curie. Zakochana w nauce” oraz sympozjum naukowe. Zaproszonych gości powitała prodziekan prof. Renata Jastrząb oraz prorektor ds. cyfryzacji i współpracy z gospodarką prof. Michał Banaszak. Prezes Polskiego Towarzystwa Chemicznego prof. Izabela Nowak przekazała na ręce prof. Hélène Langevin-Joliot jedno z najwyższych odznaczeń Polskiego Towarzystwa Chemicznego – Godność Członka Honorowego, zarówno dla prof. Langevin-Joliot jak i prof. Pierre'a Joliot. Profesor Nowak w przemówieniu powiedziała między innymi:

„Jest to dla mnie ogromna przyjemność i wielki zaszczyt, że jako Prezes Polskiego Towarzystwa Chemicznego mogę wręczyć członkostwo honorowe, które jest jednym z najwyższych wyróżnień przyznawanym przez nasze Towarzystwo, prof. Hélène Langevin-Joliot i także na ręce Pani profesor, odznaczenia dla brata – prof. Pierre'a Joliot.

Jest mi ogromnie miło wręczyć te wyróżnienia wnuczce Marii Skłodowskiej-Curie, która w roku 1919 należała do grona założycieli Polskiego Towarzystwa Chemicznego i jest jego pierwszym członkiem honorowym. Profesor Maria Skłodowska-Curie była kobietą, która na stałe zapisała się na kartach historii nauki, ją i jej osiągnięcia zna cały świat. Zarówno my Polacy, jak i Francuzi, myślimy, uważamy, mówimy i traktujemy ją w zupełnie inny sposób – jest dla nas kimś więcej niż tylko naukowcem i laureatem dwóch Nagród Nobla. Jest osobą wyjątkową i niepowtarzalną. W tym miejscu chciałabym dodać, iż siedziba Polskiego Towarzystwa Chemicznego mieści się w domu w którym Maria się urodziła i spędziła pierwsze lata życia, a także przyznajemy jej imieniem medal. Na awersie brązowego medalu znajduje się portret Marii Skłodowskiej-Curie wraz z jej nazwiskiem, a na rewersie znajduje się napis »Quo Magis Veritas Propagatur«, »Artium Chemicarum Societas Polona«.



Fot. 2. Otwarcie wystawy pt. „Maria Skłodowska-Curie. Zakochana w nauce” na Wydziale Chemii UAM. Od lewej: prof. Hélène Langevin-Joliot, Hanna Karczewska, prof. Tomasz Pospieszny i dr inż. Piotr Chrzęstowski (fot. Malwina Gabryel-Skrodzka/UAM)

Photo 2. Opening of the exhibition entitled „Maria Skłodowska-Curie. In love with science” at the Faculty of Chemistry of the Adam Mickiewicz University. From the left: Prof. Hélène Langevin-Joliot, Hanna Karczewska, prof. Tomasz Pospieszny and Dr. Eng. Piotr Chrzęstowski (photo Malwina Gabryel-Skrodzka/UAM)



Fot 3. Prof. Hélène Langevin-Joliot w trakcie przemówienia na ceremonii nadania doktoratu honoris causa (fot. Adrian Wykrota/UAM)
Photo 3. Prof. Hélène Langevin-Joliot speaking at the ceremony conferring an honorary doctorate (photo. Adrian Wykrota/UAM)

Profesor Hélène Langevin-Joliot w obszernym i porównującym przemówieniu powiedziała:

„Gdyby Maria mogła być tutaj z nami, z pewnością zabrałaby głos i mówiła o nauce. Powiedziała by, jakie idee kryją się za nauką. Ja także chciałabym do tego dzisiaj nawiązać, ponieważ jestem przekonana, że Maria Skłodowska-Curie powiedziała by, że nauka jest nadzieją dla ludzkości i świadczy o tym, jakiego postępu dokonuje ludzkość dzięki nauce. I zapewne powiedziała by też o tym, że naukę zawdzięczamy nie jednej osobie – to jest wspólny wysiłek wielu osób, nie tylko tych wielkich, Noblistów, o których mówi się głośno. Naukę tworzą setki naukowców codziennie, dokładając kamyczek po kamyczku do tego wspólnego dzieła, a od czasu do czasu zdarzy się wielkie wydarzenie, które jest kolumną podtrzymującą całą tę konstrukcję”.

Podczas licznych wywiadów, których udzieliła prof. Hélène Langevin-Joliot można było zapoznać się z jej podejściem do roli kobiet w świecie nauki. Mówiła między innymi:

„Jest to okazja do przypomnienia po raz kolejny jak ważną postacią była Maria Skłodowska-Curie oraz do tego by zachęcać młode dziewczyny, aby idąc za jej przykładem inspirowały się życiem Marii Skłodowskiej-Curie. Nieustannie powtarzam w szkołach jak ważne było dla niej to by nauka służyła ludzkości”.

Następnie mgr Ewelina Wajs-Baryła wydawczyni i współautorka projektu edukacyjnego Piękniejsza Strona Nauki, otworzyła wystawę poświęconą Marii Skłodowskiej-Curie i jej rodzinie. „Zaczął się od książki prof. Pospiesznego, a idea wystawy powstała wprost z naszych uczuć i odczuć podczas pracy nad [wydaniem] książki. Wystawa jest poświęcona Marii Skłodowskiej-



Fot 4. Prof. Hélène Langevin-Joliot i dyrektor Musée Curie Renaud Huynh z dużym zaciekawieniem oglądali liczne pamiątki rodzinne z kolekcji dr. inż. Piotra Chrzastowskiego, prawnuka Józefa Skłodowskiego (fot. Adrian Wykrota/UAM)

Photo 4. Prof. Hélène Langevin-Joliot and the director of the Musée Curie Renaud Huynh looked at the numerous family heirlooms in the collection with great interest Dr. Eng. Piotr Chrzastowski, great-grandson of Józef Skłodowski (photo Adrian Wykrota / UAM)



Fot. 5. Wykład dr. inż. Piotra Chrzastowskiego o urządzeniach pomiarowych skonstruowanych przez Pierre'a i Jacques'a Curie (fot. Malwina Gabriel-Skrodzka/UAM)

Photo 5. Lecture by Dr. Eng. Piotr Chrzastowski about measuring devices constructed by Pierre and Jacques Curie (photo Malwina Gabriel-Skrodzka/UAM)

Curie, jej życiu i dziełu, ale także chcieliśmy pokazać tym razem głębokie związki rodzinne. Pokazujemy Marię jako kobietę, matkę, jako kochankę również czasem, jako czułą ciocię i kochającą babcię” – mówiła mgr Wajs-Baryła.

Wystawa składa się z dwóch części. Pierwsza obejmuje 18 plansz, na których poprzez fotografie i cytaty



Fot. 6. Płomienne przemówienie na otwarciu wystawy wygłosiła wnuczka Marii Skłodowskiej-Curie — Pani prof. Hélène Langevin-Joliot (fot. Adrian Wykrota/UAM)

Photo 6. She gave a fiery speech at the opening of the exhibition granddaughter of Maria Skłodowska-Curie — Mrs. prof. Helene Langevin-Joliot (photo Adrian Wykrota/UAM)

zostało przedstawione życie i dzieło Madame Curie. Specjalnie na uroczystość autorzy wystawy dodali trzy plansze poświęcone Uniwersytetowi Poznańskiemu. Ta część wystawy powstała w oparciu o zbiory Archiwum Uniwersyteckiego dokumentujące nadanie w 1922 r. godności doktora honorowego Marii Skłodowskiej-Curie. Oryginalne dokumenty z tego okresu pokazały także w trzech gablotach. Z kolei ostatnia z plansz pokazuje nieznane związki Marii Skłodowskiej-Curie z miastem Poznaniem. Druga część wystawy to zgromadzone w gablotach niezwykle pamiątki pochodzące z archiwum rodzinnego potomków brata Marii – Józefa Skłodowskiego – Pani Jadwigi Chrzastowskiej i Pana dr. inż. Piotra Chrzastowskiego. Zostały tutaj pokazane zbiory rodzinnych dokumentów, listów, pamiątek i fotografii dokumentujących fascynujące losy rodziny Skłodowskich. Warto podkreślić, że archiwalia te pokazują silne związki między polską i francuską częścią rodziny. Wiele z eksponatów pokazywanych jest pierwszy raz. Kierowniczka Biblioteki Wydziału Chemii UAM dr Iwona Taborska mówiła: „*Wśród dokumentów, które posiadaliśmy były te, które mówiły, że Maria doktorat honorowy otrzymała, lecz nigdy nie został jej wręczony. To stało się takim zaczątkiem dzisiejszej wystawy. Są rozbudowane informacje dotyczące związku Marii z Poznaniem, ale jest to tylko taka łączność korespondencyjna*”.

Z kolei podczas sympozjum naukowego wykład wygłosili dr inż. Piotr Chrzastowski, prof. Marek Sikorski i prof. Tomasz Pospieszny. Doktor Chrzastowski mówił o aparatach naukowych wykonanych przez Piotra Curie, prof. Sikorski o istocie odkryć w dziedzinie fizyki cząstek elementarnych, zaś prof. Pospieszny przybliżył słuchaczom, w jaki sposób Maria i Piotr Curie odkryli polon i rad.



Fot. 7. Sympozjum naukowe i wystawa pt. „Maria Skłodowska-Curie. Zakochana w nauce” cieszyły się ogromnym zainteresowaniem i zgromadziły na Wydziale Chemii UAM licznych gości (fot. Malwina Gabryel-Skrodzka/UAM)

Photo 7. Scientific symposium and exhibition "Maria Skłodowska-Curie. In love with science" enjoyed great interest and gathered numerous guests at the Faculty of Chemistry of the Adam Mickiewicz University (photo Malwina Gabriel-Skrodzka/UAM)

Podczas uroczystości można było także nabyć książki poświęcone życiu i pracy Marii Skłodowskiej-Curie oraz radioaktywności, które prezentowało Wydawnictwo Sophia z Warszawy specjalizujące się w biografiach naukowców i popularyzacji fizyki i chemii.

Wystawę będzie można oglądać w Collegium Chemicum Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu przy ul. Uniwersytetu Poznańskiego od 8 listopada do 22 grudnia 2022.

Tomasz Pospieszny,
Zakład Produktów Bioaktywnych,
Wydział Chemii,
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza,
Poznań

Literatura:

- [1] Pospieszny Tomasz, *Maria Skłodowska-Curie. Zakochana w nauce*, Wydawnictwo Sophia, Warszawa 2022.
- [2] Hurwic Józef, *Maria Skłodowska-Curie i promieniotwórczość*, Wydawnictwo Edukacyjne ŻAK Zofii Dobkowskiej, Warszawa 2008.
- [3] Skłodowska-Curie Maria, *Prace, zebrane przez Irenę Joliot-Curie*, red. Józef Hurwic, Alicja Dorabalska, Ignacy Złotowski, Państwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa 1954.
- [4] Reid Robert, *Marie Curie*, Camair Press, London 1984.
- [5] Marciniak Anna, *Uniwersytet Poznański zapomniał o nadaniu doktoratu honorowego Marii Skłodowskiej-Curie*, „Życie Uniwersyteckie”, 2002, s. 4–5.
- [6] Zob. Archiwum PAN w Warszawie Oddz. w Poznaniu. Materiały A. Wrzoska sygn. PI11–70, zeszyt IV, s. 11–13.

ENERGETYKA JĄDROWA W POLSCE W 2022 ROKU – PRÓBA PODSUMOWANIA

Nuclear energy in Poland in 2022 – the attempt to summarize

Andrzej Mikulski

Streszczenie: Artykuł stanowi próbę podsumowania, co wydarzyło się w energetyce jądrowej w Polsce do końca listopada 2022 r. Ofertę na budowę pierwszej elektrowni złożył koncern EDF już w październiku 2021 r., podobną ofertę złożyła koreańska firma KHNP w kwietniu 2022 r., a na ofertę firm Westinghouse i Bechtel czekaliśmy do połowy września br. Potem ocena ich potoczyła się błyskawicznie i już 2 listopada rząd zaakceptował ofertę amerykańską. Kilka dni wcześniej podpisane zostało w ekspresowym tempie memorandum z koreańską firmą Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) na budowę drugiej elektrowni w Zespole Elektrowni Pątnów-Konin-Adamów, tym samym rezygnując z planowanej tam wcześniej budowy małych reaktorów modułowych. W lipcu niespodziewanie został odwołany minister Piotr Naimski ze stanowiska Pełnomocnika Rządu ds. Struktury Energetycznej. Równolegle do działań dotyczących reaktora wielkoskalowego można było obserwować działania w zakresie małych reaktorów modułowych. Dwie firmy, KGHM (Polska Miedź) i OSGE (Orlen Synthos Green Energy) złożyły zapytania do Państwowej Agencji Atomistyki o zawartość raportu bezpieczeństwa. Jeszcze wcześniej Sejm uchwalił nowelizację Prawa Wodnego, tak by można było złożyć raport środowiskowy oceniający lokalizację nadmorską do Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska (GDOŚ), który to urząd zapowiedział ogłoszenie decyzji do końca czerwca 2023 r. Trwają spotkania środowiskowe na terenie przyszłej budowy w gminie Choczewo i sąsiednich sołectwach.

Abstract: The article is an attempt to summarize what happened in the nuclear energy sector in Poland by the end of November 2022. The offer for the construction of the first power plant was submitted by the EDF concern as early as October 2021, a similar offer was submitted by the Korean company Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) in April 2022, and we waited for the offer from Westinghouse and Bechtel until mid-September this year. Then their assessment was rapid, and on November 2, the government accepted the American offer. A few days earlier, a memorandum was signed at an express pace with the Korean company KHNP for the construction of a second power plant in the Pątnów-Konin-Adamów Power Plant Complex, thus abandoning the previously planned construction of small modular reactors there. In July, Minister Piotr Naimski was unexpectedly dismissed from the position of the Government Plenipotentiary for the Energy Structure. Parallel to the large-scale reactor activities, small modular reactor activities could be observed. Two companies, KGHM (Polska Miedź) and OSGE (Orlen Synthos Green Energy), submitted inquiries to the National Atomic Energy Agency about the content of the safety report. Even earlier, the Sejm passed an amendment to the Water Law, so that an environmental report evaluating seaside locations could be submitted to GDOS, which announced the announcement of the decision by the end of June 2023. Environmental meetings are underway at the future construction site in the Choczewo commune and neighboring villages.

Słowa kluczowe: Polski Program Energetyki Jądrowej (PPEJ), Polskie Elektrownie Jądrowe (PEJ), reaktor wielkoskalowy (dużej mocy), mały reaktor modułowy (SMR)

Keywords: Polish Nuclear Energy Program (PPEJ), Polish Nuclear Power Plants (PEJ), high power nuclear reactor, small modular reactors (SMR)

Artykuł stanowi próbę podsumowania tego, co wydarzyło się w energetyce jądrowej w Polsce od stycznia do końca listopada 2022 r. Jako cztery najważniejsze wydarzenia można uznać (w kolejności chronologicznej) rozpoczęcie oceny raportu środowiskowego dla lokalizacji pierwszej (w nowej odsłonie po zaniechaniu budowy EJ Żarnowiec) elektrowni jądrowej, złożenia zapytania do Państwowej Agencji Atomistyki (dozoru jądrowego) w sprawie wymagań dla uzyskania zezwolenia dla dwóch małych reaktorów modułowych, wybór przez rząd firm Westinghouse i Bechtel jako dostawców pierwszej elektrowni jądrowej do Polski oraz podpisanie porozumienia dotyczącego zbadania możliwości budowy drugiej elektrowni jądrowej przez koncern KHNP. Poza tym warto odnotować spotkania z mieszkańcami przyszłej lokalizacji elektrowni jądrowej,

aktywność na polu małych reaktorów modułowych (SMR), pojawienie się w prasie wielu artykułów i doniesień w mediach społecznościowych o energetyce jądrowej, a na koniec rozpoczęcie kampanii informacyjnej w radiu i telewizji.

Raport środowiskowy

W styczniu 2022 r. Sejm podjął uchwałę o nowelizacji ustaw Prawo Wodne i innych ustaw, która umożliwiła odwieszenie rozpatrywania przez Główną Dyrekcję Ochrony Środowiska (GDOŚ) raportu środowiskowego dla pierwszej elektrowni jądrowej teoretycznie w dwóch lokalizacjach: Żarnowiec i Choczewo-Lubiatowo z tym, że tylko ta druga praktycznie wchodzi w rachubę. Problem polegał na tym, że od czasu roz-

poczęcia prac nad tym raportem w 2016 r. przez spółkę PGEEJ1 (nota bene drugiego wykonawcę, gdyż kontrakt z pierwszym, tj. firmą Worley Parsons został zerwany po dwóch latach) zmieniły się wymagania przygotowywania oceny środowiskowej, a dokument musi być oparty na dzisiaj obowiązujących przepisach. Dokończenie prac na raporcie wykonane zostało przez nową spółkę PEJ powołaną w 2021 r. przez Pełnomocnika Rządu ds. Strategicznej Infrastruktury Energetycznej i przekazany do oceny Generalnej Dyrekcji Ochrony Środowiska 30 marca 2022 r. Raport liczy ogółem 6 tomów i łącznie 4540 stron. Poszczególne tomy są zatytułowane:

- Tom I – Informacje wstępne (str. 85),
- Tom II – Charakterystyka Przedsięwzięcia i emisji (str. 314),
- Tom III – Charakterystyka środowiska (str. 1457),
- Tom IV – Ocena Oddziaływania Przedsięwzięcia na Środowisko (str. 2158),
- Tom V – Podsumowanie-wyniki ocen i wnioski (str. 223),
- Tom VI – Streszczenie niespecjalistyczne (str. 303).

Spis autorów liczy pełne 10 stron, z podziałem na poszczególne tomy i wiele nazwisk zapewne się powtarza.

Najciekawszy dla mieszkańców gmin, gdzie ma być budowana elektrownia będzie na pewno tom VI tj. streszczenie niespecjalistyczne, a w nim oddziaływanie na: obszary i obiekty chronione (ląd i morze), elementy przyrodnicze, klimat i czynniki klimatyczne, zmiany struktur geologicznych, powodowane drganiami, na glebę i powierzchnię ziemi, wody podziemne i powierzchniowe, jakość powietrza atmosferycznego, klimat akustyczny, zabytki i stanowiska archeologiczne (ląd i morze), krajobraz i estetykę przestrzeni, zdrowie i życie ludzi, aspekty społeczno-gospodarcze i na koniec związane z promieniowaniem jonizującym oraz w przypadku wystąpienia poważnej awarii. Niestety to ostatnie oddziaływanie opisane zostało w tym tomie na pół strony i stwierdzono, że „Wyniki analiz oddziaływania w [tym] przypadku w odległości powyżej 30 km pokazują, że nawet dla miast i województw położonych najbliżej EJ (w przypadku obu wariantów lokalizacji) dawki skuteczne oraz moce dawek są na niskich poziomach. Oznacza to, że są one niższe od średniego tła promieniowania jonizującego w Polsce”. I dalej napisano, że „nawet w przypadku wystąpienia ciężkiej awarii, działania potrzebne dla ochrony zdrowia ludności byłyby ograniczone w przestrzeni (brak konieczności stałego przesiedlenia, czy czasowej relokacji ludności poza bezpośrednim otoczeniem elektrowni), oraz w czasie (tj. zapewniona byłaby wystarczająca ilość czasu na wdrożenie koniecznych środków ochronnych)”. Można odnieść wrażenie czytając tylko streszczenie dla niespecjalistów, że informacje te są mało precyzyjne i zbyt lakoniczne, a zatem nie rozwiewają wątpliwości odnośnie zamieszkiwania w pobliżu elektrowni jądrowej, tym bardziej, gdy czyta się o rozdawaniu tabletek

jądrowych osobom mieszkającym w pobliżu zagranicznych elektrowni jądrowych.

Podsumowanie oddziaływania na środowisko kończy stwierdzenie „Na podstawie wyników analizy porównawczej i wielokryterialnej można stwierdzić, że: wariantem proponowanym przez Inwestora do realizacji jest Wariant 1 – lokalizacja Lubiatowo-Kopalino podwariant techniczny 1A”, czyli układ otwarty tj. chłodzenie bezpośrednie wodą morską (s. 284). Ocena raportu przez GDOŚ jest w toku i zakończenie jej zapowiedziano na czerwiec 2023 r.

Równolegle trwają spotkania środowiskowe na terenie przyszłej budowy w gminie Choczewo i sąsiednich sołectwach by uzyskać aprobatę mieszkańców na budowę elektrowni.

Nowy Pełnomocnik Rządu ds. Strategicznej Infrastruktury Energetycznej

W lipcu br. niespodziewanie został odwołany minister Piotr Naimski ze stanowiska Pełnomocnika Rządu ds. Strategicznej Infrastruktury Energetycznej. Było to pełne zaskoczenie, a jako uzasadnienie usłyszeliśmy z ust prezesa PiS Jarosława Kaczyńskiego, że „nie nadaje się do współpracy i wszystko blokuje”, po czym stwierdza „od razu dodam, że Piotra Naimskiego bardzo sobie cenię i uważam za człowieka odpowiedzialnego, o pięknym życiorysie, niezależnego, który mocno przysłużył się Polsce...”. Tydzień później powołany został nowy pełnomocnik w osobie Mateusza Bergera i obecnie czekamy na jego pierwsze decyzje. Według portalu Salon24.pl uważany jest za „zwolennika energetyki wiatrowej i OZE”. Ale we wrześniu nowy pełnomocnik na konferencji Atom dla Polski powiedział „Potrzebujemy rozwiązania dającego rozwój energetyki przez następne lata. Mówimy o energetyce jądrowej. Mówimy o dużej elektrowni, pierwszej na północy Polski i drugiej w innej lokalizacji. Mówimy także o technologiach SMR-owych. Kiedy będziemy mówić o technologiach bezpiecznych i sprawdzonych, także te małe reaktory będą miały przyszłość? Atom ma równoważyć energetykę odnawialną. Wierzę, że należy wspierać prosumentów oraz energetykę odnawialną. Kluczowa jest rola równoważna, którą powinien dać nam atom. Mam nadzieję, że w najbliższym czasie rząd podejmie decyzję, która umożliwi budowę dużych instalacji jądrowych w Polsce i pozwoli rozwijać technologie SMR-owe. Jesteśmy w przededniu nowej ery, a za kilka, kilkanaście lat będziemy w innym miejscu w energetyce.”¹

Elektrownia wielkoskalowa (dużej mocy)

Polska otrzymała trzy oferty na budowę reaktorów w elektrowni jądrowej w technologii wodno-ciśnie-

¹ BiznesAlert.pl: Następcą Piotra Naimskiego stawia na duży atom i liczy na decyzję rządu w najbliższym czasie, 22 września 2022

niowej, jak ustalono w Programie Polskie Energetyki Jądrowej przyjętym przez rząd w 2014 r. (często mylnie mówi się o wyborze technologii, a tu chodzi o dostawcę w ustalonej technologii). Pierwszą ofertę złożył francuski koncern EDF już w październiku 2021 r. na budowę reaktorów EPR o mocy 1650 MWe. Drugą ofertę złożyła koreańska firma KHNP w kwietniu 2022 r. na budowę reaktorów APR1400 o mocy 1400 MWe. Na trzecią ofertę przygotowywaną przez firmę Westinghouse czekano do połowy września br. zgodnie z umową zawartą między rządami polskim i amerykańskim dotyczyła ona reaktorów AP1000 o mocy 1100 MWe. W międzyczasie każdy z oferentów prowadził rozmowy z różnymi przedsiębiorstwami w Polsce zapewniając sobie możliwość współpracy i dostaw urządzeń w czasie budowy. Niestety nie są oficjalnie znane szczegóły poszczególnych ofert, ale za opracowaniem Polskiego Instytutu Ekonomicznego² i przytoczonym przez dziennik Rzeczpospolita³ oferty pod względem finansowym wyglądają następująco:

Tabela 1. Subiektywna ocena partnerów do polskiego atomu wg portalu WysokieNapięcie

Table 1. Subjective assessment of partners to the Polish NPP according to the WysokieNapięcie portal

Kryterium (ocena w skali 1-5)	Francja	Korea Płd.	USA
Finansowanie	4	4	1
Rzetelność (zdolność budowy na czas i w budżecie)	2	4	2
Deklarowany udział lokalny	4	3	4
Wynik	10	11	7

my, kto ją przeprowadzał ani nie znamy szczegółowych kryteriów. Najpierw premier Mateusz Morawiecki ogłosił na Twitterze 28 października, że rząd 2 listopada br. zaakceptuje ofertę amerykańską. W międzyczasie wicepremier Jacek Sasin wraz z delegacją gospodarczą złożoną z Zygmunta Solorza właściciela konsorcjum

Prognozy kosztów budowy polskich elektrowni jądrowych wraz z wariantami udziału polskich przedsiębiorstw, wg technologii



Z wykresu widać, że oferta francuska jest najdroższa, następnie amerykańska, a koreańska jest najtańsza zarówno pod względem kosztów całkowitych, jak i jednostkowych na gigawat mocy zainstalowanej.

Należy sądzić, że dokonano wyboru na podstawie punktowej oceny merytorycznej tych trzech ofert, która pozostaje niejawna i nie wiemy, kto ją przeprowadzał. Lukę tę wypełnił w części portal WysokieNapięcie.pl⁴ przedstawiając własną punktację i warto na nią poparzeć (Tabela 1).

Wynika z niej, że oferta koreańska jest najlepsza i tylko nie wiele ustępuje ofercie francuskiej, a najsłabsza jest oferta amerykańska. Nie należy zapominać, że przy wyborze odgrywają jeszcze czynniki polityczne, a tych nie sposób ocenić punktowo.

Ocena ofert potoczyła się błyskawicznie w ciągu 6 tygodni od złożenia oferty amerykańskiej, ale nie wie-

Polsat, Piotra Woźnego dyrektora Zespołu Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin i Wojciecha Dąbrowskiego prezesa PGE udał się do Korei Południowej, gdzie podpisane zostało, jak można sądzić w ekspresowym tempie, memorandum z koreańską firmą KHNP na budowę drugiej elektrowni właśnie w Pątnowie. Decyzja ta skutkowałą zerwaniem umowy z Synthos Green Energy (SGE) na współpracę przy budowie na terenie Elektrowni Pątnów 4 do 6 reaktorów BWRX-300 oferowanych przez GE Hitachi Nuclear.

Wiadomo również, że Francuzi nie powiedzieli ostatniego słowa w sprawie budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

Spółka PEJ prowadzi intensywną działalność edukacyjno-informacyjną na terenie przyszłej lokalizacji, organizowane są spotkania z mieszkańcami i organami administracyjnymi. Poza tym spółka złożyła we wrześniu br. do Prezesa PAA wnioski o uzyskanie ogólnej opinii dla proponowanego zakresu weryfikacji analiz bezpieczeństwa dla planowanych elektrowni jądrowych.

W przeprowadzonym w listopadzie br. przez CBOS sondażu 75 proc. badanych opowiadało się za budową elektrowni jądrowej w Polsce. Oznacza to wzrost o 36

² Juszcak, A. (2022), Ekonomiczne aspekty inwestycji jądrowych w Polsce – wpływ na biznes, rynek pracy i społeczności lokalne, Polski Instytut Ekonomiczny, Warszawa.

³ Rzeczpospolita: Koreańskie plany budowy elektrowni już na stole, 2 listopad 2022.

⁴ WysokieNapięcie.pl: Rząd podpisał atomowy czek in blanco, 3 listopad 2022

proc. w porównaniu do badania przeprowadzonego w maju 2021 r. Tak ogromny wzrost poparcia przypisywany jest rozpoczętej w lutym inwazji Rosji na Ukrainę, co doprowadziło do problemów na rynkach energetycznych i wzrostu cen.

Natomiast według sondażu IRBIS przeprowadzonego dla dziennika Rzeczpospolita, ponad 85 proc. badanych respondentów popiera pomysł budowy polskiej elektrowni jądrowej. To historycznie wysoki odsetek popierających tego typu inwestycje w Polsce.

Małe reaktory modułowe

Równolegle do działań dotyczących reaktora wielkoskalowego można było obserwować szereg działań w zakresie małych reaktorów modułowych. Najpierw KGHM Polska Miedź podpisał w lutym umowę z amerykańską firmą NuScale na budowę 6 reaktorów VOYGR tej firmy, każdy o mocy 77 MWe. Inna firma Synthos Green Energy porozumiała się PKN Orlen tworząc spółkę Orlen Synthos Green Energy (OSGE) na wspólną budowę w Polsce 10 reaktorów BWRX-300 amerykańsko-japońskiej firmy General Electric Hitachi. Obie firmy, KGHM i OSGE złożyły jednocześnie w lipcu br. zapytania do Państwowej Agencji Atomistyki o zawartość raportu bezpieczeństwa i oczekują na odpowiednie wytyczne.

Na horyzoncie pojawił się trzeci dostawca małych reaktorów, firma Last Energy oferująca reaktory wodno-ciśnieniowe o mocy cieplnej 80 MW, które mogą pracować w skojarzeniu z dostawami ciepła, a bez tego dostarczać 20 MW energii elektrycznej. Zainteresowanie tym reaktorem wyraziła Grupa Enea, a także podpisane zostało odpowiednie porozumienie na dostawę 10 takich reaktorów do Legnickiej Specjalnej Strefy Ekonomicznej.

Równolegle prowadzone są prace w Narodowym Centrum Badań Jądrowych w Świerku nad reaktorem wysokotemperaturowym chłodzonym gazem (HTGR). W marcu zakończony został trzy letni projekt GoHTR. Jednym z jego celów było przygotowanie przed-koncepcyjnego projektu reaktora TeReso o mocy 40 MWt przeznaczonego do produkcji ciepła technologicznego⁵. W ramach prac na tym reaktorem wykonano obliczenie neutronowe i cieplno-hydrauliczne korzystając z szeregu kodów, a wstępne analizy bezpieczeństwa pokazały zgodę z międzynarodowymi standardami bezpieczeństwa podczas normalnej eksploatacji i w czasie sekwencji zdarzeń rozpatrywanych w podstawowych analizach bezpieczeństwa.

Poza tym w ramach projektu GoHTR przeprowadzono badanie materiałów konstrukcyjnych dla reaktorów HTGR budując sondę ISHTAR w reaktorze MARIA.

Pierwsze jej wykorzystanie zakończyło się sukcesem pod względem eksploatacyjnym, natomiast oczekiwana jest ocena zachowania się badanych próbek w polu promieniowania.

W maju 2021 r. podpisana została nowa umowa z Ministerstwem Edukacji i Nauki na realizację prac projektowych w NCBJ w Świerku dla małego doświadczalnego reaktora HTGR o wartości 60 mln zł. Projekt jest realizowany we współpracy z Japońską Agencją Energii Atomowej (JAEA), z którą podpisano w listopadzie br. nowe porozumienie stanowiące kolejny etap współpracy w obszarze technologii reaktorów wysokotemperaturowych.

Idea małego reaktora modułowego dla celów ciepłowniczych pojawiła się, jako alternatywa dla Warszawy i miasto zleciło rozpatrzenie jej przy opracowywaniu modelu energetycznego miasta. Sprawa pojawiła się na łamach GAZETY WYBORCZEJ w lutym br. i została skomentowana w PTJ⁶.

Konferencje i seminaria

Rok 2022 obfitował w wiele konferencji i seminariów poświęconych w całości lub częściowo energetyce jądrowej.

W styczniu br. odbyło się posiedzenie parlamentarnego Zespołu ds. Kultury Bezpieczeństwa i Obronności poświęcone energetyce jądrowej z udziałem członków Obywatelskiego Ruchu na rzecz Energetyki jądrowej, które obszernie przedstawione zostało w PTJ⁷.

W kwietniu br. odbyła się w Senacie konferencja „Rola energetyki jądrowej w ochronie klimatu” pod przewodnictwem Marszałka prof. Tomasza Grodzkiego, na której wygłoszono 10 referatów takich jak:

- Kryzys klimatyczny i planetarny, czyli dlaczego musimy niezwłocznie zdekarbonizować gospodarkę,
- Energia jądrowa – stabilne źródło niskoemisyjne dziś i jutro,
- Energia jądrowa i OZE,
- Energetyka jądrowa, ale po co? – rola atomu w dekarbonizacji polskiej energetyki,
- Zeroemisyjność bez stopni zasilania albo rola stabilnej generacji energii w dekarbonizacji Polski,
- Wybór technologii jądrowych dla polityki energetycznej: które rozwiązania są gotowe do stosowania już dzisiaj?,
- Możliwości wykorzystania napędów jądrowych w kosmosie,
- Modele biznesowe w energetyce jądrowej. Model SaHo,
- Wybrane problemy dotyczące ochrony radiologicznej i oddziaływania radiacyjnego pierwszej polskiej elektrowni jądrowej,

⁵ Skrzypek, E.; Muszyński, D.; Skrzypek, M.; Darnowski, P.; Malesa, J.; Boettcher, A.; Dąbrowski, M.P: Pre-Conceptual Design of the Research High-Temperature Gas-Cooled Reactor TeReso for Non-Electrical Applications. *Energies* 2022, 15, 2084. <https://doi.org/10.3390/en15062084>

⁶ A. Mikulski: „WYBORCZA” o atomie dla Warszawy, PTJ nr 2/2022, s.42-43

⁷ J. Lipka: Posiedzenie Parlamentarnego Zespołu ds. Kultury i Obronności, PTJ nr 1/2022, s.41-43

- Rola reaktorów badawczych w rozwoju technologii jądrowych.

W maju br. odbyła się konferencja inauguracyjna projektu NCBR dotyczący dekarbonizacji produkcji energii elektrycznej w Polsce poprzez zastosowanie reaktorów jądrowych jako źródła pary w istniejących blokach energetycznych, która została omówiona w PTJ z punktu widzenia jednego z wykonawców projektu⁸ i niezależnego eksperta⁹. Koncepcja dotyczy bloków o mocy 200 MW, a pytanie jednego z dyskutantów brzmiało „Czy wysłużone już bloki 200 MW dotrwią do czasu za 10 lub więcej lat, gdy będą przy nich zbudowane reaktory jądrowe?”.

Działania organizacji społecznych

Komitet Energetyki Jądrowej SEP, Stowarzyszenie Ekologów na rzecz Energetyki Nuklearnej (SEREN) i Polskie Towarzystwo Nukleoniczne wznowiły organizację zdalnych seminariów nawiązujących do dawnych seminariów „Pod kominem” na Politechnice Warszawskiej i w bieżącym roku odbyło się sześć seminariów:

13.01 – Reaktor BWRX-300 i historia reaktorów wodnych wrzących – dr Andrzej Mikulski (PTN),

24.02 – Rozwój reaktorów IV Generacji i SMR-ów w Chinach – prof. Wacław Gudowski (NCBJ),

24.03 – Maria Skłodowska-Curie prekursorką technologii radiacyjnych – dr inż. Wojciech Głuszewski,

28.04 – Jak mówić o energii jądrowej? Specjalista w przestrzeni publicznej – mgr inż. Adam Rajewski (Wydział Mechaniki Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska),

19.05 – Organizacja budowy elektrowni jądrowej – procedury poprzedzające oraz prace przygotowawcze. System BHP i OŚ oraz Zapewnienia Jakości – mgr inż. Zbigniew WIGNER,

29.09 – Rosyjska okupacja Strefy Czarnobylskiej wiosną 2022 r. – dr hab. inż. Marek Rabiński (NCBJ i PTN),

26.10 – Badanie izotopów kluczowych z punktu widzenia ciepła powyłączeniowego – dr hab. Agnieszka Korgul (Zakład Fizyki Jądrowej, Wydział Fizyki, Uniwersytet Warszawski).

Wszystkie seminaria (te i poprzednie) są rejestrowane i dostępne na stronie internetowej SEP pod adresem: <https://sep.com.pl/organizacja/komitet-energetyki-jadrowej.html>

Obywatelski Ruch na rzecz Energetyki Jądrowej (OREJ) jest organizacją społeczną działającą od 2014 r. na rzecz poparcia budowy elektrowni jądrowej. W bieżącym roku Ruch, oprócz współorganizacji wymienionego już posiedzenia zespołu parlamentarnego zorganizował trzy akcje informacyjne na terenie gmi-

ny Choczewo w dniach 30 kwietnia – 3 maja, 16 lipca w czasie Dni Choczewa i 4 września w czasie gminnych dożynek oraz dwie akcje w Warszawie w dniu 15 sierpnia w Parku Skaryszewskim w czasie święta narodowego i 16 października na Krakowskim Przedmieściu przy pomniku Mikołaja Kopernika włączając się w ogólnoswiatowy ruch „Stand-up for Nuclear” (Stań za energią jądrową) agitując spacerowiczów w tym miejscu.

Stowarzyszenie na rzecz Elektrowni Jądrowej na Pomorzu (SEJP) działa od 2010 roku, a tegoroczna działalność skupiona była na spotkaniach z ludnością i samorządowcami z terenów w pobliżu planowanej budowy elektrowni jądrowej oraz na szkoleniach dla studentów Politechniki Gdańskiej.

Próba podsumowania 2022 roku

Próbę podsumowania 2022 r. w energetyce jądrowej w Polsce nie sposób nie rozpocząć od przypomnienia o trwającej od 24 lutego br. wojnie na Ukrainie i jej wpływu na sytuację energetyki jądrowej, co na koniec pierwszego półrocza zostało już przedstawione w PTJ¹⁰. Od tego czasu wiele się nie zmieniło, EJ Zaporozie stale pozostaje pod kontrolą wojsk rosyjskich, a ostatnio słyszemy o rozlokowaniu w pobliżu budynków reaktora baterii rosyjskich rakiet tak by nie mogły być zniszczone przez wojska ukraińskie. Systemy wyprowadzenia mocy w pozostałych elektrowniach: EJ Chmielnicki, Równo i Południowo-ukraińska zostały ostrzelane rakietami, co spowodowało konieczność ich wyłączenia, a wychłodzenie reaktorów odbyło się za pomocą awaryjnych agregatów prądotwórczych (diesla).

Przechodząc do spraw krajowych to ten rok obfitował w wiele wydarzeń tak jak żaden poprzedni. Sytuacja rozwijała się jakby dwutorowo: ruszyły na dobre (mam nadzieję) prace przy elektrowniach wielkoskalowych: pierwszej amerykańskiej dostarczanej przez firmę Westinghouse, drugiej koreańskiej dostarczanej przez koncern KHNP po pozytywnej ocenie proponowanej lokalizacji w Pątnowie i stale pozostaje w grze trzecia francuska oferowana przez firmę EDF. Drugi tor to prace nad trzema małymi reaktorami modułowymi budowanymi przez firmy prywatne Orlen Synthos Green Energy, KGHM i Last Energy Polska w wersji chłodzenia wodą, których pierwsze egzemplarze według zapewnień ich inwestorów mogą być uruchomione już w 2029 r. Osobną ścieżką realizowane są wspólnie prace przy reaktorze wysokotemperaturowym przez NCBJ i partnera z Japonii.

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

⁸ A. Miśkiewicz: Na ścieżce dekarbonizacji „coal-to-nuclear” – nowy projekt w ramach programu GOSPOSTRATEG, PTJ nr 3/2022, s.35-36

⁹ A. Mikulski: Konferencja inauguracyjna projekt DESIRE, PTJ nr 3/2022, s.36-40

¹⁰ A. Mikulski: Sytuacja energetyki jądrowej a wojna na Ukrainie, PTJ nr 2/2022, s.7-10

TRANSPORT MATERIAŁÓW PROMIENIOTWÓRCZYCH

Transport of Radioactive Materials

Krzysztof Rzymkowski

Streszczenie: W opracowaniu przedstawiono różne rodzaje i sposoby transportu materiałów promieniotwórczych zalecane przez wymagania ochrony radiologicznej i międzynarodowe organizacje transportowe.

Abstract: The paper presents various types and methods of transport of radioactive materials recommended by radiation protection requirements and international transport organizations.

Słowa kluczowe: Materiały promieniotwórcze, pojemniki transportowe, kontener, kod IFN

Keywords: Radioactive materials, transportation cask, container, IFN code

Szeroka współpraca międzynarodowa w zakresie energetyki jądrowej i wykorzystanie materiałów promieniotwórczych w różnych dziedzinach, medycynie, przemyśle, rolnictwie i badaniach naukowych wymaga rozbudowanego systemu transportu tych materiałów pomiędzy zakładami przemysłu jądrowego ulokowanymi na różnych kontynentach. Różnorodność ładunków promieniotwórczych (rudę uranu, wzbogacony UF_6 , świeże lub wypalone paliwo jądrowe, odpady promieniotwórcze, izotopy dla przemysłu i medycyny itd.) powodują, że liczba potencjalnych przewoźników jest ograniczona. Proponowane są różne rozwiązania przewozu materiałów promieniotwórczych z wykorzystaniem transportu samochodowego, kolejowego, nawet specjalizowanych statków do przewozu ładunków niebezpiecznych, jak i wyjątkowo transportu lotniczego (głównie materiałów do zastosowań medycznych). W celu zapewnienia bezpieczeństwa ludzi i środowiska zasady transportu materiałów promieniotwórczych są objęte umowami międzynarodowymi.

Zalecenia międzynarodowe

Międzynarodowe zalecenia dotyczące transportu materiałów promieniotwórczych zostały przedstawione przez Międzynarodową Agencję Energii Atomowej (MAEA) po raz pierwszy w 1961 r. i są stale aktualizowane. Są one respektowane przez krajowe i międzynarodowe organizacje transportowe: transport drogowy **ADR** – (*L' Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route*), transport kolejowy **RID** – (*Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses*), transport lotniczy **ICAO** – (*International Civil Aviation Organization*), transport morski **IMO** – (*International Maritime Organisation*).

Zgodnie z zaleceniami ONZ (*Recommendations on the Transport of Dangerous Goods, Model Regulations*) dotyczącymi transportu materiałów niebezpiecznych wprowadzono ich klasyfikację. Materiały promieniotwórcze należą do klasy 7.

Metody transportowania materiałów promieniotwórczych zostały szczegółowo opisane w uzgodnionych międzynarodowych zaleceniach (IAEA – *TECDOC – 1191 z 2000 r.*). Podstawą zaleceń jest klasyfikacja materiałów promieniotwórczych wynikająca z całkowitej aktywności materiału A wyrażonej w [Bq] i jego stężenia promieniotwórczego C wyrażonego w [kBq/kg].

Klasyfikacja pozwala wydzielić grupę materiałów promieniotwórczych stanowiących **materiały jądrowe** objęte szczególną kontrolą międzynarodową, ponieważ mogą one być użyte do wytworzenia jądrowych środków wybuchowych. Są to materiały zawierające izotopy ^{239}Pu , ^{233}U , ^{235}U lub ich mieszaninę, jak i wszelkie materiały wyjściowe: uran naturalny, uran wypalony, tor w każdej postaci. Zalecenia uwzględniają zabezpieczenia materiału przed jego ukryciem z zamiarem wykorzystania go do celów militarnych lub terrorystycznych.

W 1959 r. powstała w ramach ONZ Międzynarodowa Organizacja Morska – IMO opracowująca zalecenia bezpieczeństwa na morzu i dotyczące zapobieganiu jego zanieczyszczeniu. W roku 1965 przedstawiła zalecenia morskiego transportu towarów niebezpiecznych Międzynarodowy Morski Kodeks Towarów Niebezpiecznych (*International Maritime Dangerous Goods Code – IMDG*) określający zasady przewozu, pakowania, sztautowania pojemników zawierających materiały niebezpieczne. W roku 1993 Kodeks uzupełniono zaleceniami dotyczącymi przewozu materiałów promieniotwórczych zgodnie z zaleceniami MAEA z uwzględnieniem warunków bezpieczeństwa ludzi i środowiska,

również w przypadku awarii. Kodeks wprowadził zalecenia dotyczące projektowania statków przewożących materiały promieniotwórcze i odniósł się między innymi do odporności konstrukcyjnej statków, ich stabilności i ochrony przeciwpożarowej. Międzynarodowy kodeks bezpiecznego przewozu pakowanych napromieniowanych paliw jądrowych, plutonu i wysokoaktywnych odpadów promieniotwórczych na pokładzie statków (kod INF *International code for the safe carriage of package irradiated nuclear fuel, plutonium and high level radioactive wastes on board ship*) wszedł w życie w 2001 r. Kodeks IMDG jest uzupełnieniem konwencji o bezpieczeństwie życia na morzu (*International Convention for the Safety of Life at Sea – SOLAS*) obowiązującej od 1974 r. i konwencji zapobieganiu zanieczyszczaniu morza (*International Convention for Prevention of Marine Pollution from Ships – MARPOL*) z 1978 r.

Kod INF określa klasy statków zgodnie z zaleceniami MAEA określającymi klasyfikację materiałów promieniotwórczych wynikającą z całkowitej aktywności materiału.

Statki klasy IFN 1 mogą przewozić materiały promieniotwórcze o całkowitej aktywności mniejszej od 4000 TBq.

Statki klasy IFN 2 mogą przewozić wypalone paliwo jądrowe lub wysokoaktywne odpady promieniotwórcze o całkowitej aktywności mniejszej od $2 \cdot 10^6$ TBq oraz pluton o całkowitej aktywności mniejszej od $2 \cdot 10^5$ TBq.

Statki klasy IFN 3 mogą przewozić wypalone paliwo jądrowe lub wysokoaktywne odpady promieniotwórcze oraz pluton bez ograniczeń całkowitej aktywności.

Podstawowe wymagania bezpieczeństwa transportu materiałów jądrowych

Międzynarodowe zalecenia związane z transportem materiałów promieniotwórczych określają zasady bezpieczeństwa. Podstawowym warunkiem bezpieczeństwa jest fizyczne odseparowanie materiału promieniotwórczego od środowiska poprzez zastosowanie odpowiedniego pojemnika transportowego, którego konstrukcja powinna być dostosowana do całkowitej aktywności materiału i jego stężenia promieniotwórczego.

W każdym typie stosowane są różne rozwiązania techniczne dostosowane do rodzaju transportowanego materiału. Wspólną cechą wszystkich rodzajów pojemników jest wymóg niskiego poziomu promieniowania na zewnętrznej powierzchni pojemnika. Wymagania te ustalają władze krajowe. W Stanach Zjednoczonych organizowanych jest rocznie około 40 transportów **materiałów jądrowych**, czasem na znaczne odległości. Według obowiązujących tam przepisów (10 CFR71,47,b) poziom promieniowania w dowolnym punkcie powierzchni pojemnika powinien być 0,01Sv/h, a w dowolnym punkcie powierzchni transportera (pojazdu)

musi być 0,002 Sv/h. Poziom promieniowania w odległości 2 m od powierzchni bocznych transportera musi być 0,0001 Sv/h. Kolejnym, niezwykle ważnym wymaganiem, które muszą spełniać pojemniki transportowe materiałów jądrowych, jest eliminacja możliwości powstania samorzutnej reakcji łańcuchowej, przy której powstaniu mogłoby dojść do wybuchu. Transportowane wypalone paliwo musi być utrzymywane w stanie podkrytycznym. Warunkiem utrzymania tego stanu jest wychwytywanie tzw. neutronów termicznych.

Paliwo pracujące w reaktorze ulega bardzo znacznemu rozgrzaniu. Wysoką temperaturę może ono utrzymywać przez długi okres; określa się, że nawet po upływie 10 lat 1 tona wypalonego paliwa nadal wydzielą około 1 kW ciepła. Dlatego też konstrukcja pojemników transportowych powinna uniemożliwiać przegrzanie ich elementów i paliwa, by nie uległy one destrukcji powodując awarię.

Wybór rodzaju transportu

W transporcie morskim materiałów promieniotwórczych należy uwzględnić indywidualne przepisy i wymagania krajowe w portach tranzytowych i docelowych. Należą do nich zezwolenia na tranzyt, przeładunek materiałów promieniotwórczych, ubezpieczenia ładunku i potwierdzenie ważności atestów pojemników transportowych. Oprócz tego transport i wszelkie związane z nim działania muszą być dostosowane do lokalnych wymagań ustalanych przez władze lokalne, a w morskim transporcie – portowe, ponieważ ważna jest również infrastruktura portu: nadbrzeża, dźwigi, magazyny do czasowego składowania, ograniczenia wejścia do portu ze względu na pływy, lód itd.

Rodzaje materiałów promieniotwórczych

Materiałami promieniotwórczymi, najczęściej przewożonymi po regularnych trasach śródlądowych i morskich, są półprodukty używane w przemyśle jądrowym, w tym około 30% jest związane z energetyką jądrową, a 70% z innymi gałęziami przemysłu i medycyny. W większości są to produkty masowe w stanie stałym (U_3O_8 proszek "yellow cake", UF_6 z uranem wzbogaconym lub naturalnym, UO_2 w postaci proszku lub pastylek (*Pastyłka materiału paliwowego w postaci spieku ceramicznego, uzyskanego z proszku dwutlenku uranu (UO_2) lub mieszaniny dwutlenków uranu i plutonu (UO_2+PuO_2 paliwo MOX)*). Przewożone jest również świeże i wypalone paliwo. Stałe trasy przewozu to Australia – Stany Zjednoczone, Stany Zjednoczone – Europa. Europa – Stany Zjednoczone, Afryka – Europa. Ożywiona wymiana handlowa prowadzona jest również przez Chiny i Japonię.

Pojemniki transportowe

Materiały promieniotwórcze zgodnie z zaleceniami międzynarodowymi muszą być przewożone w specjalnie opracowanych do tego celu pojemnikach.

Do transportu wykorzystywane są dwa podstawowe rodzaje pojemników transportowych, przeznaczonych:

- do różnych materiałów promieniotwórczych o małych aktywnościach,
- do transportu rozszczepialnych materiałów jądrowych.

Wspólną cechą wszystkich rodzajów pojemników jest wymóg niskiego poziomu promieniowania na zewnętrznej powierzchni pojemnika. Wymagania te ustalają władze krajowe.

Jak już wspomniano, materiały promieniotwórcze są klasyfikowane zależnie od poziomu całkowitej aktywności materiału i stężenia promieniotwórczego. Do transportu materiałów promieniotwórczych wykorzystywanych jest 5 klas pojemników:

- opakowania wyłączone (*excepted packages – EXC*),
- opakowania przemysłowe (*industrial packages – IP*) (IP-1, IP-2, IP-3),
- pojemniki Typu A,
- pojemniki Typu B (BM, BU),
- pojemniki Typu C.

Pojemniki do transportu materiałów promieniotwórczych

Opakowania wyłączone (*excepted packages – EXC*), są przeznaczone do transportu materiałów promieniotwórczych niebędących materiałami jądrowymi. Materiałami jądrowymi nazywane są materiały, które mogą być użyte do budowy jądrowych środków wybuchowych. Wydzielone są dwie grupy: materiały o niskiej aktywności (*Low Specific Activity – LSA*) i przedmioty skażone powierzchniowo (*Surface Contaminated Objects – SCO*). Przy małej ilości transportowanych materiałów nie są wymagane żadne specjalne zabezpieczenia.

Opakowania przemysłowe (*industrial packages – IP*) (IP-1, IP-2, IP-3), są przeznaczone do transportu materiałów o niskiej aktywności LSA i przedmiotów zanieczyszczonych powierzchniowo SCO. Materiały LSA mają niski poziom aktywności całkowitej i małe stężenie promieniotwórcze. Różnice pomiędzy typami tych pojemników polegają głównie na dodatkowych wymaganiach dotyczących ciśnienia i temperatury oraz wymaganiach wytrzymałościowych i ewentualnego wykorzystania w transporcie lotniczym.

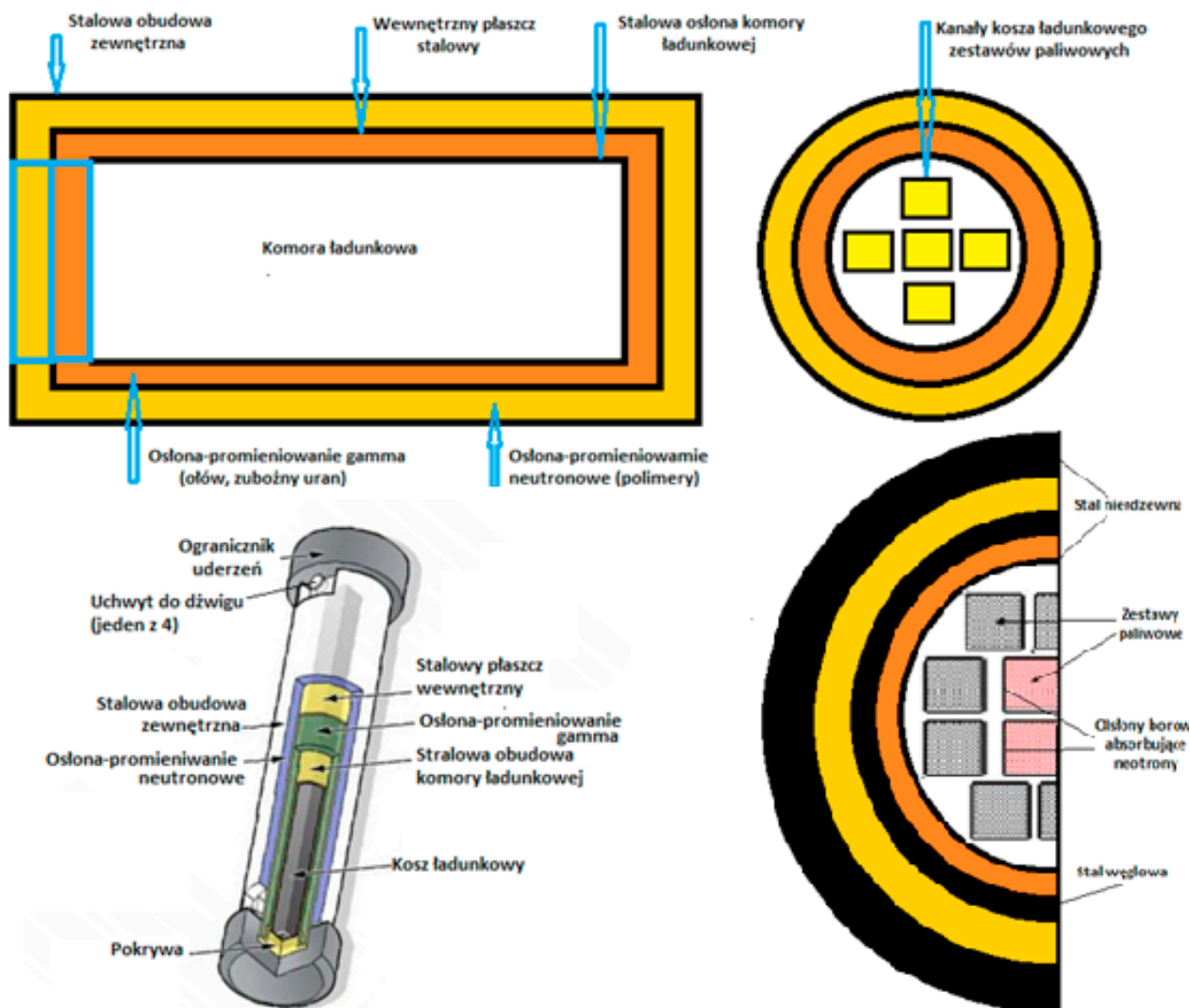
Pojemniki do transportu materiałów jądrowych

Konstrukcja pojemników do transportu **materiałów jądrowych** jest dostosowywana do rodzaju

przewożonego materiału z uwzględnieniem jego aktywności promieniotwórczej, składu izotopowego, postaci fizycznej (ciekłej, gazowej lub stałej). Odmienne wymagania dotyczące transportu materiałów jądrowych, w zakładach cyklu paliwowego, spowodowały konieczność opracowania specjalizowanych pojemników transportowych dostosowanych do aktualnych potrzeb etapu procesu technologicznego. Podstawowe wymagania dotyczące konstrukcji pojemników ograniczają się do zaleceń zachowania ochrony przed promieniowaniem, bezpieczeństwa jądrowego (np. zabezpieczenia przed samorzną reakcją łańcuchową, niekontrolowanym wzrostem ciśnienia i temperatury) i bardzo ostrych wymagań wytrzymałościowych. O pozostałych parametrach, takich jak np. wymiary, waga, rodzaj używanych materiałów do budowy pojemnika, osłon w oparciu o dane wynikające z przeznaczenia pojemnika, sposobu jego transportowania decyduje konstruktor.

Najczęściej pojemniki (A, B, C) wykorzystywane są do transportu wypalonego paliwa. Ich zewnętrzne wymiary zależą od przewidywanej ilości transportowanych zestawów (od 1 do 48) i ich długości. Zwykle długość zestawu paliwowego nie przekracza 5 m, a jego waga wynosi około 0,5 t. Przekrój poprzeczny zestawu jest kwadratem, którego rozmiar zależy od ilości prętów paliwowych tworzących zestaw (15x15, 16x16, 17x17 reaktor PWR, 7x7, 8x8, 9x9, 10x10 reaktor BWR). Wymiar przekroju zestawu paliwowego (od około 8 do 20 cm) decyduje o wykorzystaniu wewnętrznej objętości transportowej pojemnika. Wypalone paliwo jest unieruchomione w kanałach w koszu – sztywnej konstrukcji kratowej zbliżonej do stojaków, w których przechowywane jest paliwo w przechowalniku mokrym – basenie. Konstrukcja kosza musi tworzyć z paliwem zwartą całość, musi zapewniać eliminację rezonansów mechanicznych, naprężeń mogących spowodować rozszczelnienie prętów paliwowych w zestawie. Objętość transportowa otoczona jest osłonami tłumiącymi promieniowanie. Szerokość wszystkich osłon może osiągać 25 cm. Pojemniki transportowe dla paliwa do reaktorów PWR i BWR mają postać walca o średnicy zewnętrznej nieprzekraczającej około 3 m, zależnej od pojemności pojemnika – ilości transportowanych zestawów. Waga dużego, pustego pojemnika, może wynosić około 124 t, a załadowanego może osiągnąć około 160 t. Pojemniki przeznaczone dla reaktorów CANDU ze względu na odmienną konstrukcję paliwa (są to walce o długości około 60 cm) przypominają skrzynie.

Ważnym elementem konstrukcji pojemnika transportowego jest odprowadzanie ciepła. Stosowane są różne rozwiązania. Jednym z nich jest umieszczenie na powierzchni zewnętrznej systemu żeberk tworzących radiator, inna metoda polega na specjalnej konstrukcji osłony neutronowej.



Rys. 1. Podstawowa konstrukcja pojemnika transportowego (K. Rzymkowski, ERI 2030-1101 NRC 2010)
Fig. 1. Basic structure of a transport container transportowego (K. Rzymkowski, ERI 2030-1101 NRC 2010)

Pojemniki Typu A mają zapewnić bezpieczny i ekonomiczny transport niewielkich ilości materiałów jądrowych w postaci ciekłej, gazowej lub stałej, np. wykorzystywanych w medycynie. Powinny one zachować swoją integralność oraz stały poziom promieniowania na powierzchni zewnętrznej nawet w chwili przypadkowego upadku, posiadać odporność na warunki pogodowe, wytrzymałość na obciążenie spowodowane pięciokrotnym załadunkiem pojemników, itp. Pojemniki mogą być plombowane.

Pojemniki Typu B są przeznaczone do transportu dużych ilości wysokoaktywnych materiałów jądrowych np. wypalonego paliwa, toksycznego i aktywnego chemicznie sześćfluorku uranu UF_6 . Pojemniki muszą wytrzymywać wszystkie normalne warunki transportu, tak jak pojemniki typu A. Duża ilość materiałów jądrowych wymaga zwiększenia odporności przed promieniowaniem. Pojemnik musi wytrzymać niespodziewane, cięż-

kie warunki wypadkowe, bez naruszenia jego integralności. Pojemniki typu B (U) są zaprojektowane tak, by ciepło wypromieniowywane przez materiały jądrowe nie wpływało niekorzystnie na opakowanie. Dodatkowym wymogiem jest podwyższona szczelność, tak by powstające lotne substancje promieniotwórcze nie były w niekontrolowany sposób uwalniane do atmosfery. Pojemniki Typu B (M) muszą spełniać dodatkowe, znacznie podwyższone wymagania, dotyczące zabezpieczenia przed wzrostem poziomu promieniowania na zewnątrz pojemnika, zarówno w czasie normalnych warunków transportu, jak i po wypadku. Pojemniki są przeznaczone do transportu naziemnego (drogowego lub kolejowego) i morskiego wypalonego paliwa, w pewnych warunkach mogą one być wykorzystywane w transporcie lotniczym.

Pojemniki Typu C zostały zaprojektowane z myślą o transporcie dużych ilości materiałów jądrowych sa-

molotami. Mimo, że wypadki lotnicze nie zdarzają się często to ich skutki mogą być bardzo poważne. Wymagania bezpieczeństwa dla pojemników typu C znacznie przewyższają wymagania obowiązujące dla pojemników typu B, szczególnie w odniesieniu do uderzeń.

Pojemniki do transportu morskiego

Linie żeglugowe zgodnie z przepisami transportowymi wykorzystują opakowania transportu intermodalnego, w którym używana jest tylko jedna jednostka ładunkowa, np. kontener, na całej trasie przewozu towaru, bez jego przeładunku przy zmianie rodzaju transportu. Materiał promieniotwórczy umieszczony w znormalizowanych opakowaniach bezpieczeństwa zostaje załadowany do odpowiedniego kontenera, w którym dociera do odbiorcy w zakładzie docelowym. Zaletą tego rozwiązania jest możliwość zawarcia jednej umowy na przewóz z jednym wykonawcą odpowiedzialnym za dostawę towaru. Zmniejsza się również ryzyko uszkodzenia towaru. W zależności od rodzaju opakowania materiałów promieniotwórczych wykorzystywane są różne kontenery (zgodne z normami ISO) i najczęściej są to kontenery:

- do przewozu lub do przewozu i przechowywania towarów suchych;
- płaskie, przystosowane do przewozu i przechowywania ciężkich ładunków o nietypowych rozmiarach, są one przystosowane do układania jeden na drugim;
- platformowe, nadające się do ponadgabarytowych, ciężkich i nietypowych ładunków. Kontenery platformowe można połączyć ze sobą, tworząc większą platformę dla ładunków ponadgabarytowych i ciężkich, które przekraczają standardowe specyfikacje kontenerów platformowych;
- otwarte, z otwieraną ścianą górną i otwieranymi ścianami bocznymi ułatwiającymi załadunek;
- zbiornikowe, przystosowane do przewozu materiałów płynnych lub sypkich.

Badania pojemników

Badania wytrzymałościowe są przeprowadzane w celu sprawdzenia zakładanej wytrzymałości pojemników transportowych w normalnych warunkach transportu oraz w trudnych niespodziewanych sytuacjach awaryjnych. Badania są przeprowadzane według międzynarodowych standardów, zgodnych z zaleceniami MAEA opracowanymi w 1996 r. Badania mają symulować spodziewane warunki pogodowe i transportowe, nieumiejętne obchodzenie się z ładunkiem i wynikające z tego powodu drobne wypadki. Ze względu na ogromną wagę pojemników do badań wytrzymałościowych mogą być wykorzystywane modele.

Badania pojemników sprawdzające ich wytrzymałość w przewidywanych bezawaryjnych warunkach transportu jak i niemożliwych do przewidzenia sytuacjach awaryjnych sprawia, że muszą one potwierdzić odporność konstrukcji pojemnika w każdych warunkach. Podstawowe testy mają skontrolować odporność pojemników na zraszanie wodą (natrysk), wytrzymałość na wstrząsy, udary, wysoką temperaturę, przy zachowaniu integralności transportowanego materiału i szczelności pojemnika oraz zachowaniu bezpiecznego poziomu promieniowania na jego powierzchni.

W czasie transportu mogą padać ulewne deszcze. **Test natryskowy** prowadzony jest w warunkach odpowiadających szybkości opadu 5 cm/h, przy równomiernym natrysku na pojemnik przez godzinę. Są to bardzo trudne warunki ponieważ w meteorologii za bardzo ulewny deszcz uważany jest opad o szybkości 0,75 cm/h. Możliwe są warianty testu symulujące różne opady zanieczyszczone drobinami pochodzącymi z emisji przemysłowych.

Test wytrzymałości na wstrząsy polega na swobodnym upadku pojemnika z wysokości 9 m lub upadku na pojemnik masy 0,5 t również z wysokości 9 m. Swobodny upadek odpowiada uderzeniu z prędkością 50 km/h. Z doświadczeń wynika, że pojemniki są w stanie wytrzymać uderzenie z szybkością 110 km. **Test udarowy** sprawdza odporność pojemnika na przebi-



Płaski (icon-containe.de)



Zbiornikowy (Hi-Marine)



Otwarty (Containertech.com)

Rys. 2. Przykłady konstrukcji kontenerów wykorzystywanych w transporcie materiałów promieniotwórczych (K. Rzymkowski)

Fig. 2. Examples of containers used for transport of radioactive materials (K. Rzymkowski)

cie i uszkodzenie jego powierzchni i polega na swobodnym upadku pręta hartowanego o średnicy 3,2 cm z półkolistym zakończeniem i masie 6 kg z wysokości 1,3 m. Testy te powinny być przeprowadzane po dokonaniu testu natryskowego. Możliwe są różne warianty łączenia testów np. natryskowych i udarowych, wszystkich jednocześnie i w różnych kombinacjach ułożenia badanego obiektu (leżący na różnych podłożach, postawiony pionowo itp.).

Badanie termiczne jest przeprowadzane w równowadze termicznej uwzględniającej temperaturę otoczenia, nasłonecznienie i temperaturę wewnętrzną wytworzoną przez ciepło paliwa jądrowego. Podczas trwania testu wielkości te ulegają zmianie, a do oceny odporności wymagana jest znaczna ilość i jakość zmian. W czasie testu pojemnik powinien znajdować się w strumieniu węglowodorowego ognia paliwowo-powietrznego w ustabilizowanych warunkach przez 30 min w temperaturze 800 °C. Badany pojemnik nie może być w czasie trwania testu i po jego zakończeniu sztucznie chłodzony, a wszelkie spalanie materiałów powinno zachodzić naturalnie.

Test szczelności pojemnika w standardowym badaniu szczelności polega na zanurzeniu go w basenie na głębokości 15 m na okres 8 godzin. Odpowiada to ciśnieniu około 150 kPa. W rozszerzonym badaniu szczególnie pojemników B (U) i B(M) (transport wypalnego paliwa) zanurzenie powinno wynosić 200 m przez 1 godzinę. Ciśnienie około 2 MPa. Badanie należy wykonywać po przeprowadzeniu testu wstrząsu lub testu udarowego oraz badań termicznych.

Pojemniki typu C przystosowywane do transportu lotniczego powinny spełniać warunki wymagane dla pojemników typu B. Istotna różnica dotyczy testu udarowego. Pręt testowy o większej średnicy i zakończeniu stożkowym powinien spadać z wysokości 3 m. Testy powinny być przeprowadzane przy użyciu tego samego pojemnika w każdym etapie badań. Innym dodatkowym wymaganiem jest test wstrząsowy, w którym testowany pojemnik powinien wytrzymać uderzenie w twarde podłoże z prędkością 324 km/h. Prędkość została ustalona na podstawie danych o wypadkach statków powietrznych zebranych przez Lawrence *Livermore National Laboratory* w Stanach Zjednoczonych.

Jednym z bardzo istotnych zagrożeń, przewidywanych przy transporcie materiałów jądrowych, jest możliwość powstania samostnej reakcji łańcuchowej. Warunkiem niedopuszczenia do tej reakcji jest utrzymanie w pojemniku transportowym stanu podkrytycznego. Prawdopodobieństwo rozszczepienia wzrasta wraz z ilością materiału rozszczepialnego, dlatego zwraca się dużą uwagę na stopień wypalenia paliwa i takie jego rozmieszczenie by nie utworzył się „rdzeń mikro reaktora” z niedopalonego paliwa otoczonego bardziej wypalonym paliwem tworzącym rodzaj reflek-

tora dla neutronów. Kosz, w którym umieszczone jest paliwo może posiadać osłony absorbujące neutrony (zawierające np. bor, kadm, gadolin, ind). Reakcja łańcuchowa wywoływana jest głównie przez spowolnione neutrony i w pojemnikach transportowych unika się materiałów moderujących w przestrzeni pomiędzy zestawami paliwowymi. Wyjątkowo przy transporcie bardzo wypalnego paliwa, którego załadowanie odbywa się pod wodą w basenie woda może nie być usuwana. Woda basenowa zawiera związki boru absorbujące neutrony stanowi dodatkową osłonę biologiczną. Innym ważnym elementem mającym pośredni wpływ na możliwość powstania niekontrolowanej reakcji jest temperatura wewnątrz pojemnika, którego chłodzenie powinno być takie by temperatura na jego powierzchni nie przekraczała 80 °C.

Sposoby morskiego transportu materiałów promieniotwórczych

Materiały promieniotwórcze są pakowane do pojemników nie tylko zapewniających bezpieczeństwo przez odseparowanie materiału od środowiska, ale również odpowiednio dostosowanych do rodzaju materiału, jego stanu fizycznego, wymiarów, konstrukcji itp. Dla tych pojemników dopasowywane są najodpowiedniejsze kontenery. Przewożony drogą morską materiał promieniotwórczy w postaci proszku „yellow cake”, będący mieszaniną tlenków uranu jest zwykle pakowany w bębnyki o standardowych wymiarach (IP1) ładowanych i unieruchamianych w zwykłych kontenerach lub z otwieranymi ścianami. Jedna przesyłka może składać się z kilkunastu kontenerów. Innym półproduktem używanym do produkcji paliwa jądrowego jest UF_6 , który w postaci krystalicznej jest pakowany w pojemnikach przemysłowych IP 1 i IP2 wykonywanych w formie walca. UF_6 jest przesyłany w różnych wariantach, jako UF_6 naturalny przed procesem wzbogacania (IP2) oraz UF_6 wzbogacony (IP1). Ponieważ wielokontenerowy transport tych materiałów może odbywać się wraz z innymi towarami, zaleca się by w obu przypadkach poziom promieniowania w odległości 1m od pojemnika nie przekraczał 10 $\mu Sv/h$. UF_6 wzbogacony przewożony jest w pojemnikach typu A. Podobne zalecenia dotyczą materiałów do produkcji paliwa UO_2 w postaci proszku lub pastylek. Świeże paliwo przewożone jest pojemnikami typu B. Wypalone paliwo przewożone jest pojemnikami typu B lub C na statku IFN2 lub IFN3. Inne materiały promieniotwórcze pochodzące z ośrodków badawczych ze względu na zawartość Pu lub związków uranu przewożone są w pojemnikach typu A. Paliwo typu MOX (*Mixed Oxide – mieszanina tlenków uranu*) transportowano w pojemnikach typu B. Pojemniki typu IP2 (beczki) są często wykorzystywane do transportu materiałów napromieniowanych, np. płynów technicznych, zużytych olejów itp. Pojemniki typu A i B mogą

być transportowane w różnych kontenerach zbiornikowych, platformach. Walcowe pojemniki IP są transportowane w kontenerach płaskich lub zbiornikowych.

W pewnych warunkach, gdy port nie ma możliwości do załadunku kontenerowego lub nie wpływają do niego statki przewożące kontenery, wygodniej jest zrezygnować z transportu kontenerowego, mimo że zapewnia on większe bezpieczeństwo towaru. Załadunek typu "Break Bulk" polega na załadunku na statek towaru „luzem”, w przypadku materiałów promieniotwórczych tylko w pojemnikach transportowych odpowiedniego typu. Zaletą takiego rozwiązania jest to, że można transportować duże ilości materiałów promieniotwórczych stosując indywidualnie opracowaną logistykę. Wiąże się to jednak z większym ryzykiem potencjalnego uszkodzenia towaru podczas przeładunku i transferów w drodze z zakładu nadawcy do miejsca docelowego.

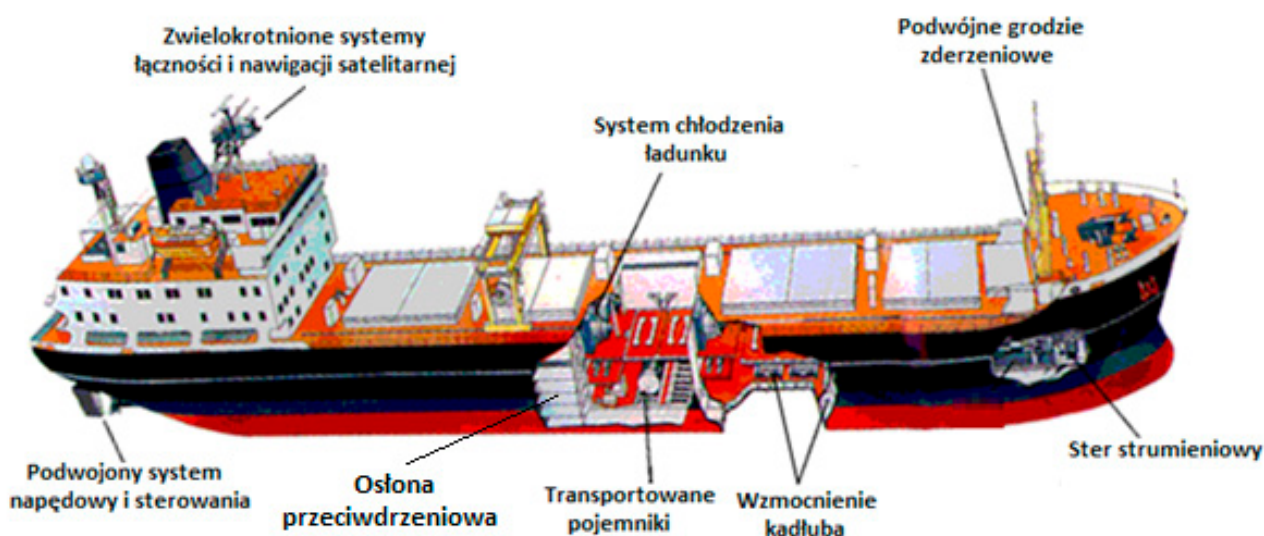
Innym rodzajem transportu używanym raczej na krótkich trasach morskich (wyjątkowo oceanicznych) jest transport materiałów promieniotwórczych typu Ro/Ro (roll on/roll off) polegający na tym, że pojazd wraz ze swoim ładunkiem wjeżdża na statek i wyjeżdża w porcie docelowym. Ten rodzaj transportu jest często stosowany między Wielką Brytanią i Europą.

Konieczność międzykontynentalnego bezpiecznego transportu materiałów promieniotwórczych, szczególnie wysokoaktywnych materiałów jądrowych, spowodowała budowę kilkunastu przeznaczonych do tego celu statków. Są one zaprojektowane tak, by wytrzymały kolizję boczną z dużym tankowcem. W przypadku zatonięcia statku pojemniki z materiałem jądrowym są w stanie leżeć na dnie nawet kilkanaście lat, a ich odszukanie jest ułatwione, ponieważ nowoczesne pojemniki są wyposażone w sygnalizatory umożliwiające lokaliza-

cję. Są to statki spełniające warunki klasy IFN3 do przewozu każdego rodzaju materiałów jądrowych szczególnie wzbogaconego uranu, plutonu, paliwa MOX i paliwa wypalonego. Na rys. 2 przedstawiono wspólną konstrukcję statków przystosowanych do przewozu wysokoaktywnych materiałów jądrowych. Statki posiadają wzmocnioną konstrukcję kadłuba, osłony tłumiące energię uderzenia, separację wszystkich dublowanych systemów sterowania, napędu, nawigacji, kontroli. Na statku zastosowano systemy ochrony radiologicznej: kontroli poziomu promieniowania, osłony pomieszczeń ładunkowych, oddalenie pomieszczeń załogi maszynowni i nawigacji od ładunku. Pozycja statku jest obserwowana przez systemy satelitarne.

W celu zmniejszenia ryzyka ewentualnego napadu terrorystycznego bardzo ważnym elementem zapewnienia bezpieczeństwa transportu materiałów jądrowych jest utajnienie informacji dotyczących rodzaju materiału jądrowego, jego ilości, postaci, organizacji systemu ochrony fizycznej transportu (plany, szkice, konstrukcje dodatkowych zabezpieczeń), trasy i terminów transportu, czy planów awaryjnych.

W Japonii większość importowanych materiałów jądrowych wykorzystywanych w energetyce jądrowej jest przewożona z zagranicy statkami drobnicowymi. Wypalone paliwo z elektrowni jest transportowane drogą morską do zakładów przerobu paliwa jądrowego w Tokaimura w Japonii oraz do zakładów przerobu w Wielkiej Brytanii i Francji. Od roku 1998 rozpoczęto morski transport niskoaktywnych odpadów promieniotwórczych (*Low Level Waste – LLW*) do składowiska dla tego typu odpadów w Rokkasho-mura, gdzie rozpoczęto również budowę nowych zakładów przerobu paliwa (Nuclear Fuel Ltd. JNFL). W Japonii używano do przewozu wypalonego paliwa cztery podobne statki:



Rys. 3. Statek przystosowany do transportu materiałów jądrowych (wg. www.aec.gov K. Rzymkowski)

Fig. 3. Ship adapted for the transport of nuclear materials (according to www.aec.gov K. Rzymkowski)

- **Hinoura Maru** zbudowany w 1974 r., o długości 78 m, mógł przewozić 2 pojemniki: HZ-75 i 1 pojemnik NH-25 przeznaczone do użytkowania w kraju dla paliwa z PWR i BWR o wypaleniu 19,7 GWd/MTU¹.
- **Pacific Swan** zbudowany w 1978 r., o długości 106 m, mógł przewozić 8 pojemników TN-12A do użytku międzynarodowego, paliwa o wypaleniu 15 GWd/MTU. Statek uległ zniszczeniu w 2005 r.
- **Rokuei Maru** zbudowany w 1996 r., o długości 100 m, może przewozić 6 pojemników NFT-14P. Są to największe pojemniki o ładowności 14 zestawów paliwowych PWR, o wypaleniu 40 GWd/MTU.
- **Sejei Maru** zbudowany w 2019 r., o długości 100 m, może przewozić 336 pojemników LLW.

Ochrona fizyczna materiałów jądrowych

Konwencja o fizycznej ochronie materiałów jądrowych (*Convention on the Physical Protection of Nuclear Material – CPPNM*), której depozytariuszem jest MAEA w dokumencie INFCIRC/255/Rew.4 (1999) zobowiązuje państwa do współpracy, wzajemnych konsultacji, wymiany informacji o sposobach ochrony fizycznej, stosowanych technikach oraz o sposobach odzyskiwania utraconego materiału jądrowego.

System ochrony fizycznej powinien uniemożliwiać kradzież lub inne sposoby nielegalnego pozyskiwania materiałów jądrowych, szybkie wykrycie i lokalizację skradzionych materiałów, zapobiegać działaniom sabotażowym oraz szybko likwidować lub minimalizować powstałe zagrożenia radiologiczne.

Każde państwo powinno zagwarantować ochronę materiałów jądrowych znajdujących się i używanych na jego terytorium także podczas krajowego i międzynarodowego ich transportu lądowego lub na pokładzie statku lub samolotu podlegającemu jego jurysdykcji. System ochrony materiałów jądrowych jest połączeniem elementów administracyjnych, technicznych i różnego rodzaju zapór fizycznych. Kradzież materiałów jądrowych podlega odpowiednim karom, które uwzględniają stopień spowodowanego zagrożenia.

Systemy ochrony materiałów jądrowych są opracowywane indywidualnie dla każdego obiektu i sposobu transportu. Za ich opracowanie, wprowadzenie i poprawne funkcjonowanie odpowiedzialne są władze państwowe w ramach swojego prawa krajowego zgodnego z prawem międzynarodowym. W każdym państwie mogą obowiązywać różne rozwiązania techniczne, prawne, organizacyjne, ale pomiędzy państwami powinna być wzajemna wszechstronna współpraca. Powoduje to konieczność umiędzynarodowienia problemu ochrony materiałów jądrowych, co jest szczególnie wyraźnie widoczne w sytuacji, gdy efektywność

systemu ochrony w jednym państwie jest uzależniona od działań innego państwa, np. w sytuacji konieczności transportu materiałów jądrowych przez wspólną granicę lub przy transporcie tranzytowym.

Państwo powinno powołać organ posiadający odpowiednie uprawnienia, środki finansowe i specjalistów, odpowiedzialnych za wdrażanie postanowień konwencji o ochronie fizycznej materiałów jądrowych. Funkcje powołanego organu w zakresie bezpieczeństwa transportu powinny obejmować:

- udzielanie licencji do międzynarodowego przewozu materiałów kategorii klasy 7,
- przeprowadzanie kontroli zgodności transportu materiału jądrowego z obowiązującymi przepisami,
- określenie zasad ochrony fizycznej transportu z uwzględnieniem różnych scenariuszy zagrożeń (*design basis threat-DBT*),
- przygotowanie planów bezpieczeństwa transportu (*transport security plans – TSPs*),
- aktualizowanie przepisów ochrony fizycznej w transporcie,
- testowanie systemów ochrony fizycznej, przeprowadzanie szkoleń, sprawdzanie gotowości służb pomocniczych i organów współpracujących,
- zapewnienie poufności wrażliwych informacji o transporcie,
- dobór zaufanego personelu powiązanego z transportem i jego przygotowaniem,
- ustanowienie zasad egzekwowania wydanych rozporządzeń.

Dla celów ochrony fizycznej materiałów jądrowych wprowadzono ich kategoryzację, różnicując poziom zabezpieczeń. Kategoryzacja wynika z potencjalnej atrakcyjności używanych materiałów dla celów terrorystycznych. Różne kategorie materiałów są przechowywane w obszarach wymagających różnych stopni ochrony i nie ma potrzeby stosowania wszędzie jednakowych standardów. Dostęp do obszarów chronionych jest ograniczony tylko dla wybranego i sprawdzonego personelu. Systemy ochrony posiadają również mechanizmy uwzględniające ochronę materiału jądrowego w przypadku sytuacji awaryjnych. Kategoryzacja materiałów jądrowych obowiązuje również w transporcie. Materiały jądrowe kategorii I powinny być chronione przy użyciu najbardziej rygorystycznych poziomów ochrony fizycznej (w skrajnych przypadkach nawet z ochrony wojskowej), podczas gdy materiały niższych kategorii nie wymagają tak silnych zabezpieczeń.

Istotnym problemem jest konieczność ustalenia wspólnej (wypadkowej) kategorii w przypadku przewozu w jednym transporcie różnych materiałów jądrowych o różnym wzbogaceniu materiałów rozszczepialnych. Jest to potrzebne do określenia odpowiednich środków ochrony fizycznej. Opracowano kilka sposo-

¹ Wypalenie wyraża się w gigawatodniach na tonę metryczną uranu (GWd/MTU) (gigawatt-days per metric ton of uranium – GWd/MTU).

bów wyznaczania kategorii transportowej. W przypadku, gdy postać mieszaniny materiałów nie nadaje się do jakichkolwiek zastosowań dla celów terrorystycznych można nie przeprowadzać takich obliczeń. Podstawą kategoryzacji transportowej jest kategoryzacja materiałów jądrowych opracowana na potrzeby ich ochrony fizycznej w obiektach jądrowych. Wybór metody klasyfikacji dokonuje organ państwowy odpowiedzialny za bezpieczeństwo jądrowe.

Krzysztof Rzymkowski,
Stowarzyszenie Ekologów na
Rzecz Energii Nuklearnej,
Warszawa

Literatura:

- [1] Rzymkowski Krzysztof, *Transport materiałów jądrowych*, BJOR PAA Nr 1-2 (115) 2018 Warszawa ISSN53-9062
- [2] Rzymkowski Krzysztof, *Transport morski materiałów radioaktywnych*, BJOR PAA Nr 1 (119) ISSN 53-9062 Warszawa 2021.
- [3] Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material
- [4] 1996 Edition (As Amended 2003. IAEA Vienna
- [5] Security of Nuclear Material in Transport Implementing Gide IAEA Nuclear Security Series No.. 26-G Vienna 2015
- [6] Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material Specific Safety Requirements No. SS-R(Rev.1) Edition 2018 IAEA Vienna 2018
- [7] A Metodology for Establishing a National Strategy for Education and Training in Radiation Trasport and Waste Safety, Safety reports Series No. 93 IAEA Vienna
- [8] Transport of Radioactive Materials World Nuclear Association Update 2017, www.world-nuclear.org/.../transport...materials/transport-of-radioactive
- [9] J.S Hughes, M.P. Harvey, *A Survey into the Radiological Impact of the Natural Transport of Radiological Material by Sea*, HPA-RPD-050 2009
- [10] Sigrid now on Swedish water, www.skd.com
- [11] Transport by Sea, www.skd.com
- [12] Stefan Hioeft, *Maritime Shipments of Radiological Materials*, World Nuclear transport Institute UK
- [13] F.Lange, J. Mairs, C.Niel, *Risk associated with the transport of radioactive materials in the fuel cycle*, XA 9746018, www.iaea.org/inis/collection/.../_Public/29/013/29013479.pdf
- [14] Spent Fuel Transportation Risk Assessment, Final Repotr U.S. NRC NUREG 2125
- [15] International Maritime Dangerous Goods Code, en.wikipedia.org
- [16] J. M. Van Dyke, *The legal regime Concerning Sea Transport of Ultra hazardous Radiated Material*, SEAPOL Conference Bangkok 2001

ARTYKUŁY

DRUGA REWOLUCJA W KONSTRUKCJI
LAMP RENTGENOWSKICH

The second revolution in the design of X-ray tubes

Grzegorz Jezierski

Streszczenie: W artykule przedstawiono najnowsze osiągnięcia w konstrukcji lamp rentgenowskich, które można określić drugą rewolucją. Mianowicie podstawowy problem jaki stwarzają dotychczasowe rozwiązania wynikające ze stosowania termicznego źródła elektronów (m.in. problem chłodzenia, sterowania pracą lampy) został rozwiązany poprzez wykorzystanie nanotechnologii do konstrukcji innowacyjnych źródeł elektronów w oparciu o emisję polową (nanorurki węglowe czy mikro-ostrza).

Abstract: The article presents the latest achievements in the design of X-ray tubes, which can be described as the second revolution. Namely, the basic problem posed by the current solutions resulting from the use of a thermal electron source (including the problem of cooling, tubes control) has been solved by using nanotechnology to construct innovative electron sources based on field emission (carbon nanotubes or micro-tips).

Słowa kluczowe: lampy wyładowcze, lampa rentgenowska Coolidge’a, źródło elektronów, termoemisja, emisja polowa, nanotechnologia MEMS, nanorurki węglowe, mikroostrza.

Keywords: discharge tubes, Coolidge X-ray tube, electron source, thermo-emission, field emission, MEMS, nanotechnology, carbon nanotubes, micro-tips

Wstęp

Promieniowanie rentgenowskie jest dzisiaj szeroko wykorzystywane już nie tylko w medycynie czy w różnych dziedzinach nauki (fizyka, chemia, biologia, inżynieria materiałowa), ale również w wielu innych dziedzinach – przemyśle, rolnictwie, produkcji żywności oraz farmaceutyków, ochronie środowiska, szeroko pojętym bezpieczeństwie (*security*), a także w obszarze kultury (archeometria i historia kultury oraz sztuki). Natura i właściwości promieniowania rentgenowskiego pozwalają badać wewnętrzne struktury różnych (praktycznie wszystkich) materiałów i obiektów zarówno na poziomie makro, jak i mikro-struktury. Procesy produkcyjne w przemyśle stają się coraz bardziej złożone. Nowe i coraz bardziej zróżnicowane technologie powodują konieczność stosowania takich rozwiązań w zakresie kontroli, które są w stanie uwidocznić ukryte lub bardzo małe struktury – tzw. obszar NDT¹. Aby zapewnić bezpieczeństwo w dziedzinach takich jak aeronautyka, przemysł motoryzacyjny, niezbędna jest inspekcja stosowanych tam elementów, zespołów czy połączeń. Ciągły trend w kierunku miniaturyzacji i coraz większej zwartości układów elektronicznych w przemyśle elektronicznym pociąga za sobą konieczność stosowania inspekcji rentgenowskiej, umożliwiającej uzyskiwanie dużych powiększeń przy zapewnieniu dużej rozdzielczości uzyskiwanego obrazu. Stąd też obserwuje się dzisiaj bardzo dynamiczny rozwój tzw. mikrotomografii komputerowej.

¹ NDT (Non Destructive Testing) – badania nieniszczące materiałów i wyrobów.

Jak wiadomo, promieniowanie rentgenowskie wytwarzane jest nie tylko sztucznie przez człowieka, ale występuje ono w naturze (np. Słońce i inne gwiazdy oraz ciała niebieskie jak planety, komety i in.) W Tabeli 1 przedstawiono dostępne techniczne źródła promieniowania rentgenowskiego. W praktyce najczęściej na świecie wykorzystywane są lampy rentgenowskie.

Tabela 1. Techniczne źródła promieniowania rentgenowskiego
Table 1. Technical sources of X-ray radiation

Lampy rentgenowskie
Akceleratory cząstek naładowanych: - akceleratory liniowe - betatrony - synchrotrony, w tym laser na swobodnych elektronach XFEL*
Plazmowe źródła promieniowania rentgenowskiego z użyciem: - wiązek laserowych (<i>Laser Plasma Sources</i>) - wyładowań elektrycznych (<i>Discharge Plasma Sources</i>) - wysokiej temperatury w bombie atomowej
Izotopowe źródła promieniowania rentgenowskiego: Fe-55, Co-57, Cd-109, Gd-153, Am-241
Źródła przetwornikowe β-X Pm-147/tarcza Al, Sr-90/Y-90/tarcza Al, Kr-85/tarcza C, Tl-204/tarcza Ag

*X-Ray Free-Electron Laser

Pomimo że, pierwsze lampy rentgenowskie zbudowano ponad 100 lat temu, ich technologia cały czas nieprzerwanie się rozwija, aczkolwiek zasada działania pozostaje bez zmian. Niemniej, konstrukcja lampy rentgenowskiej zawsze pozostaje interesującym tematem.

2. Lampy gazowane (jonowe) wytwarzające promieniowanie X

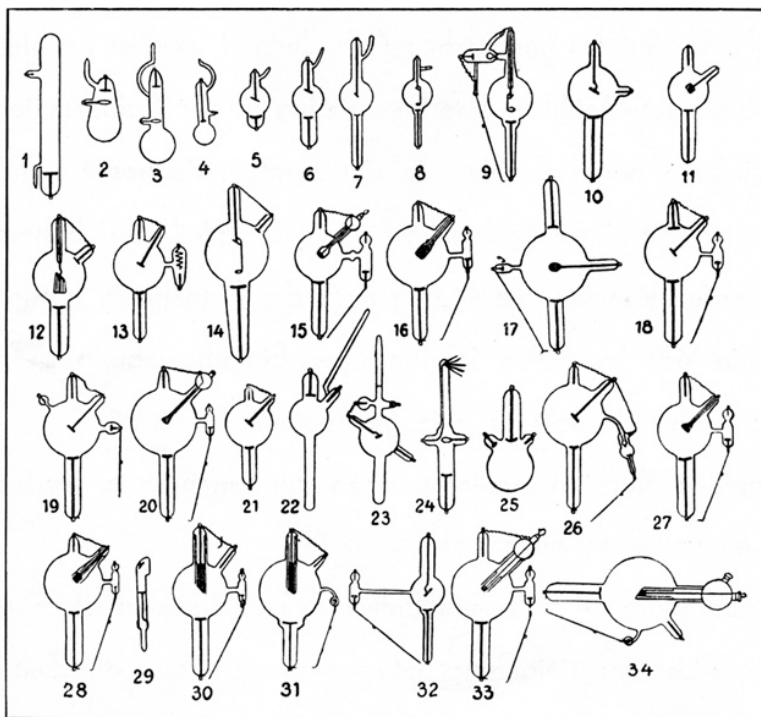
Jako że pierwsze lampy wyładowcze stosował angielski uczonec William Crookes (1832-1919), prowadząc różne eksperymenty dotyczące wyładowań elektrycznych w gazach, każdą lampę opartą na niżej wymienionych zasadach, nazywano lampą Crookesa. To właśnie z taką lampą eksperymentował w 1895 r. niemiecki fizyk Wilhelm C. Röntgen (1845-1923), dokonując odkrycia nowych nieznanych promieni X². W lampach tych, aby mogło mieć miejsce wyładowanie elektryczne, musiała być obecna niewielka pozostałość gazu, stąd też lampy te nazywano często **lampami gazowanymi** lub **jonowymi**.

Obecność promieniowania kosmicznego powoduje, iż zawsze są obecne jakieś wolne elektrony oraz jony w lampie. Pod wpływem wysokiego napięcia dodatnie jony gazu, ulegały przyspieszeniu między elektrodami i bombardując katodę wyzwalały z niej elektrony. W związku z taką emisją elektronów, lampy te nazywano również lampami rentgenowskimi z zimną katodą. Z kolei uwolnione z katody elektrony, ulegając przyspieszeniu pod wpływem przyłożonego z zewnątrz wysokiego napięcia, padając na przeciwległą ściankę bańki, emitowały w niej promienie X. W pierwszych lampach jonowych niekiedy na drodze elektronów umieszczano dodatkową trzecią elektrodę, tzw. antykatodę.



Fot. 1. Jonowa lampka do wytwarzania promieni X (ok. 1910 r.) [9]
Photo 1. Ion tube for producing X rays (around 1910) [9]

Właściwe działanie pierwszych lamp rentgenowskich (gazowanych, czyli jonowych) zależało do obecności niewielkiej ilości gazu wewnątrz lampy. Jego ilość



Müller-Röntgenröhren bis 1914

Rys. 1. Różnorodne konstrukcje wczesnych lamp do wytwarzania promieni X firmy C.H.F. Müller [1]

Fig. 1. Various designs of early X-ray tubes of C.H.F. Müller [1]

oraz ciśnienie określały wydajność lampy. Jednakże podczas pracy takiej lampy następowała stopniowa absorpcja cząstek gazu, wskutek czego próżnia w lampie stawała się zbyt wysoka dla przepływu prądu. Wymagało to stosowania coraz wyższego napięcia; mówiło się więc, iż lampa stawała się „twarda”. Jeżeli natomiast było zbyt dużo gazu wewnątrz lampy, gaz ten ulegał zjawisku fluorescencji i również nie były wytwarzane promienie X; lampa stawała się „miękką”. Stąd też, aby zapewnić zadowalającą i jednolitą pracę lamp jonowych, próżnia powinna być utrzymywana na stałym w przybliżeniu poziomie. Na „twardość” czy „miętkość” lampy oprócz samego ciśnienia gazu miały wpływ także takie czynniki jak: rodzaj gazu (powietrze, dwutlenek węgla, azot czy wodór), odległość między katodą i anodą w lampie, włączenie do lampy iskiernika czy wreszcie gęstość prądu.

Na początku XX wieku wytwarzano bardzo wiele rodzajów lamp rentgenowskich (gazowanych), eksperymentując z różnymi ich kształtami, rodzajami anod, jak i regulatorami próżni – rys. 1.

Rozwiązanie regulacji próżni w tychże lampach rentgenowskich (gazowanych) wczesnego okresu stwarzało wiele problemów. Wykorzystywano więc różnorodne regulatory utrzymujące próżnię na wymaganym poziomie. Stąd też wśród pierwszych lamp rentgenow-

² W polskiej nomenklaturze promienie X określamy jako promieniowanie rentgenowskie.

skich możemy rozróżniać lampy jonowe bez regulacji próżni oraz lampy jonowe z regulacją próżni.

Należy zaznaczyć, iż lampy jonowe były mało wydajne, jeśli chodzi o emisję promieniowania rentgenowskiego i niesterowalne w tym sensie, iż wielkość prądu anodowego była bezpośrednio związana z wysokim napięciem; wzrost napięcia powodował wzrost prądu.

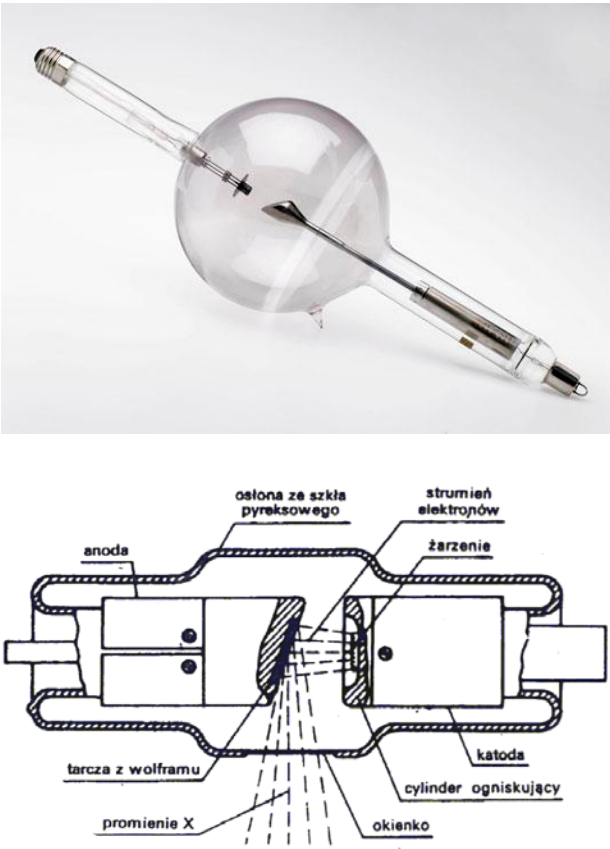
3. Właściwa lampa rentgenowska – pierwsza rewolucja w konstrukcji lamp rentgenowskich

Najbardziej istotnym elementem lampy rentgenowskiej jest samo źródło elektronów, które winno być wydajne, stabilne w czasie, ale także sterowalne w przestrzeni oraz czasie. Niewątpliwie lampy gazowane nie posiadały takiego źródła elektronów. Dopiero w 1913 r. amerykański wynalazca William Coolidge (1873-1976) opatentował „właściwą” lampę rentgenowską, w której zastosował wydrebnione źródło elektronów w katodzie lampy w postaci grzejącej się spirali wolframowej (2300-2400°C). Wyodrębnienie niezależnego i w dodatku silnego źródła elektronów w postaci żarzonej spirali umożliwiała niezależną regulację prądu anodowego i wysokiego napięcia dla sterowania promieniowaniem X. Zaslugą Coolidge’a było opanowanie technologii wyciągnięcia spirali z kruchego materiału, jakim jest wolfram. Były to, więc lampy z gorącą katodą, wykorzystujące zjawisko emisji elektronów z podgrzanego metalu w próżni, co wymagało zastosowania wyższej próżni niż w dotychczasowych lampach jonowych. Często istnieją dwa żarniki wolframowe w postaci spirali; mały dla niskiej mocy i lepszej rozdzielczości geometrycznej oraz większy dla większej mocy wyjściowej, o średnicach drutu 0,22 i 0,3 mm.

Warto też odnotować fakt, iż prekursorem lampy Coolidge’a był polski wynalazca Juliusz E. Lilienfeld (1882-1963) urodzony we Lwowie. W 1911 r. na uczelni w Lipsku skonstruował lampę, która miała odrębne źródło elektronów niezależnie od katody, co znacznie czyniło tę lampę dość skomplikowaną i trudniejszą w eksploatacji. Niestety firmy europejskie jak chociażby niemiecki Siemens nie były zainteresowane komercyjną produkcją

tych i jej udoskonalaniem. Za to firma General Electric, w której zatrudnienie znalazł po powrocie z Europy W. Coolidge, zrobiła na jego lampie wielki interes.

W. Coolidge znany jest, jako „ojciec lampy rentgenowskiej”, ma na swoim koncie 83 patenty dotyczące konstrukcji różnych lamp rentgenowskich w tym na coraz to wyższe napięcia (do 900 kV). Lampa z gorącą katodą, a więc typu Coolidge’a stanowi do dzisiaj podstawowy rodzaj lamp rentgenowskich produkowanych przez różne firmy do różnych zastosowań. Schemat takiej lampy rentgenowskiej ze stałą anodą przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Lampa rentgenowska z gorącą katodą (typu Coolidge’a) oraz jej schemat
Fig. 2. X-ray tube with hot cathode (Coolidge type) and its diagram

Tabela 2. Porównanie lamp rentgenowskich
Table 2. Comparison of X-ray tubes

Wczesne lampy	Współczesne lampy
wypełnione gazem (gazowane, jonowe) (zimna katoda)	próżniowe (gorąca katoda)
ciśnienie: 0,1 Pa ÷ 0,01 Pa (~ 10 ⁻³ ÷ 10 ⁻⁴ tor)	ciśnienie: ~ 10 ⁻⁴ Pa (~ 10 ⁻⁶ tor)
niestabilne źródło elektronów	sterowalne źródło elektronów
jako tarczę wykorzystywano ściankę lampy	stosuje się małą metalową tarczę
brak układu do ogniskowania wiązki elektronów	układ ogniskujący wiązkę elektronów
kształt katody nie jest krytyczny	katoda w postaci żarnika
małe moce lamp – niewielka ilość wydzielanego ciepła	znaczne moce – duże ilości wydzielanego ciepła



Fot. 2. Z lampą Coolidge'a SRT-4 (400 kV, 15 mA) w Muzeum Lamp Rentgenowskich Politechniki Opolskiej oraz z lampą Lilienfelda w Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie

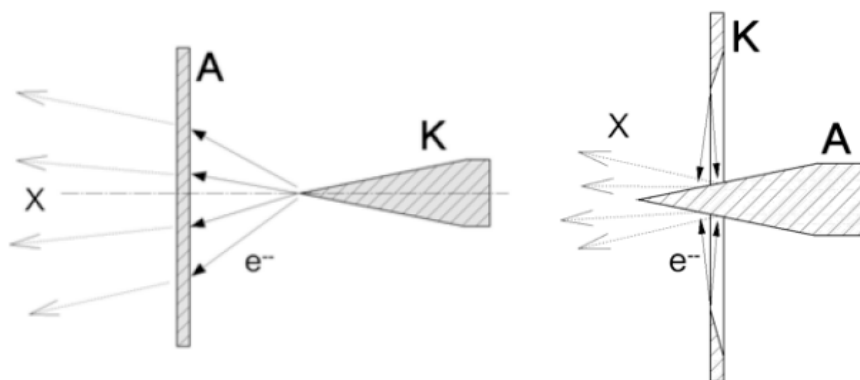
Photo 2. With the Coolidge SRT-4 tube (400 kV, 15 mA) at the Museum of X-ray Lamps of the Opole University of Technology and with the Lilienfeld tube at the Maria Skłodowska-Curie Museum in Warsaw

Należy także uzupełnić, iż podczas drugiej wojny światowej pojawiły się lampy rentgenowskie z wykorzystaniem emisji polowej, tj. zimnej emisji elektronów z metalu. W tym przypadku elektrony są „wrywane” z zimnej metalowej katody za pomocą odpowiednio silnego zewnętrznego pola elektrycznego. Pracują one, jako lampy impulsowe z czasem trwania impulsu rzędu ns, przy dużych natężeniach impulsu prądowego, rzędu kA.

4. Lampy rentgenowskie z emitерem elektronów emisji polowej wykonanym w nanotechnologii; druga rewolucja w konstrukcji lamp rentgenowskich

Wykorzystując technologię MEMS (*Micro-Electrical-Mechanical-System*) amerykański wynalazca Charles A. Spindt w 1968 r. zespolił ostrza emitera z elektrodą ekstrakcyjną (zwaną dalej bramką lub siatką) w jedną całość. Zastosowanie metody cienkich warstw do wykonania tej zintegrowanej wyrzutni umożliwiło zmniejszenie odległości emiter-bramka do wymiarów mikrometrycznych. Dzięki temu niezbędne natężenie pola na katodzie dla uzyskania emisji polowej można było uzyskać przy potencjale bramki względem katody poniżej 100 V. Dodatkowo zwiększenie natężenia pola uzyskuje się przez wytworzenie katody o odpowiednim kształcie, możliwie małym promieniu krzywizny rzędu nanometrów i o możliwie małym kącie wierzchołkowym.

Układy MEMS wykorzystują, jako materiał krzem, ze względu na jego niezbyt wysoką cenę, dostępność i możliwość włączania funkcji elektronicznych. Układy te wytwarzane są przy użyciu różnych technik,



Rys. 3. Dwa podstawowe układy impulsowej lampy z zimną emisją [2]; z anodą transmisyjną (lewy) i anodą odbiciową (prawy) A - anoda, K - katoda, e - elektrony, X - promieniowanie rentgenowskie
Fig. 3. Two basic circuits of pulsed lamp with cold emission [2]; with transmission anode (left) and reflection anode (right) A - anode, K - cathode, e - electrons, X - X-rays



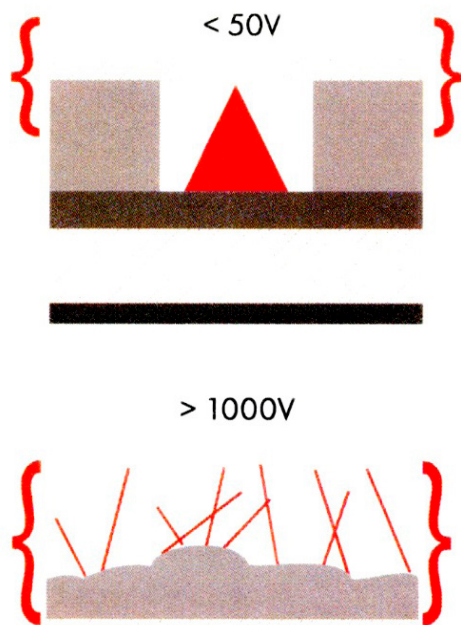
Fot. 3. a) Lampy impulsowe firmy L-3 Communications (USA) b) zużyte anody ostrzowe ze źródła otwartego firmy Scandiflash (Szwecja)
Photo 3. a) Pulse tubes by L-3 Communications (USA) b) used spike anodes from an open source company by Scandiflash (Sweden)

takich jak: osadzanie, litografia i trawienie, wytwarzając grubości od 1 do 100 μm .

Obecnie na świecie rozwijane są równolegle dwie technologie:

- z mikroostrzami metalowymi lub z krzemu oraz tlenków metali (np. ZnO),
- z nanorurkami: węglowymi (CNT – Carbon Nano Tube) czy tytanowymi (TiO_2).

Zasadę działania obu tych rozwiązań przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Dwa podstawowe rozwiązania źródeł elektronów z zimną emisją; z lewej mikroostrza metalowe, z prawej nanorurki węglowe (Nad rysunkami podane są wymagane napięcia na bramce, są one znacznie wyższe dla CNT niż dla mikroostrza metalowego)

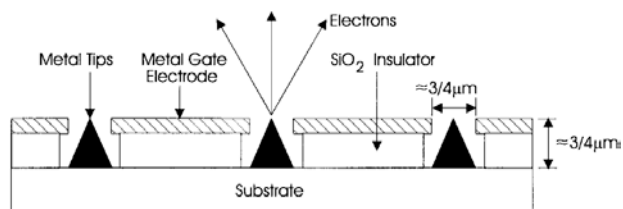
Fig. 4. Two basic solutions of cold emission electron sources; on the left metal micro-tips, on the right carbon nanotubes (Above the pictures are the required voltage on the gate, they are much higher for the CNT than for the metal micro-tips)

Do „wyrwania” elektronów niezbędne jest napięcie aktywacji, przyłożone w niewielkiej odległości od mikroostrzy metalowych lub nanorurek węglowych, co realizowane jest za pomocą zasilania odpowiedniej bramki. Sterowanie bramką umożliwia szybkie cyfrowe załączania źródła elektronów (niezależnie od anody) w czasie rzędu mikrosekund; dla porównania lampy z termoemisją, mogą być przełączone w milisekundach. Zimna emisja połowa wymaga generalnie, aby środowisko było stabilne, co wymaga ultrawysokiej próżni, tj. przynajmniej o rząd wyższej niż w lampach konwencjonalnych.

Podczas gdy elektrony termiczne (z gorącej katody) są emitowane w losowych kierunkach, elektrony zimne (z zimnej katody emisji połowej) są skierowane do przodu, ponadto mają wąski rozrzut energii, co razem sprzyja wytwarzaniu obrazów rentgenowskich o dużej rozdzielczości. Prąd anodowy i tym samym związane z nim natężenie promieniowania rentgenowskiego jest sterowany tylko przez napięcie siatki, niezależnie od napięcia anodowego i przełączany w mikrosekundach. Sam mechanizm przyspieszania elektronów padających na anodę pozostaje ten sam, co w lampach konwencjonalnych.

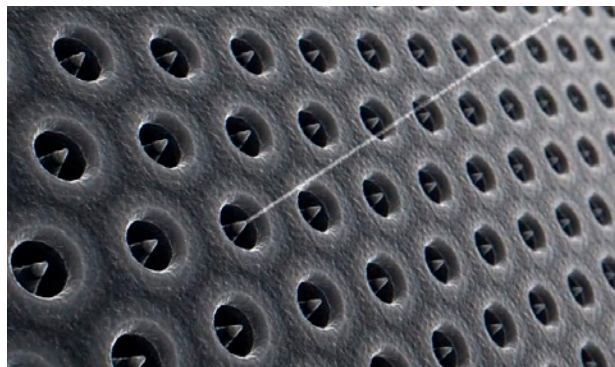
4.1. Źródła elektronów na bazie mikroostrzy

Technologię wytwarzania emiterów na bazie mikroostrzy metalowych wdrożyła izraelska firma Nanox. Emiter wykonany jest w postaci chipu FEA (Field Emission Array), który stanowi macierz około 100 mln nanostozków z molibdenu na powierzchni 1 cm^2 krzemu. Elektrony emitowane z każdego nanostozka uderzają w inne miejsce na anodzie, co utrzymuje anodę w korzystniejszych warunkach termicznych; nie ma np. potrzeby stosowania anody wirującej.



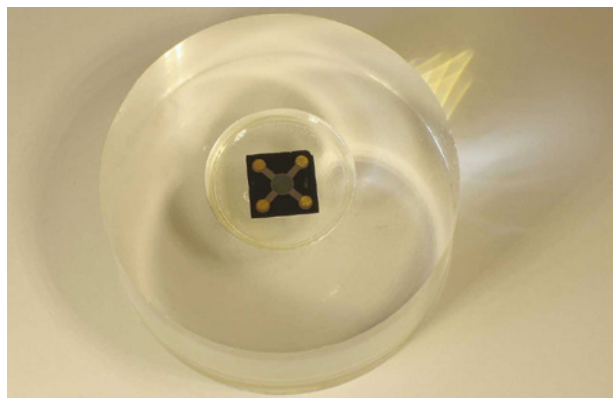
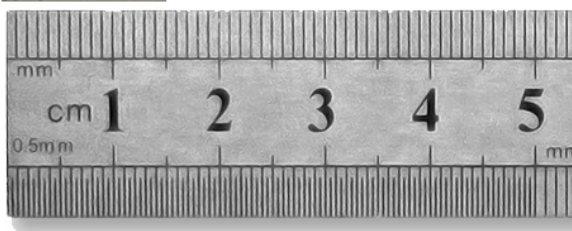
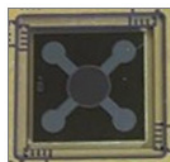
Rys. 5. Przekrój emitera z mikroostrzami metalowymi (Gate oznacza siatkę, bramkę)

Fig. 5. Cross-section of the emitter with metal micro-tips (Gate means a grid, a gate)



Fot. 4. Widok matrycy z mikroostrzami [6]

Photo 4. View of the matrix with micro-tips [6]



Fot. 5. Chip z mikroostrzami (źródło ma wymiar 2 mm × 2 mm) oraz eksponat z firmy Nanox w Muzeum Lamp Rentgenowskich Politechniki Opolskiej

Photo 5. Chip with micro-tips (the source is 2 mm × 2 mm) and an exhibit from Nanox at the Museum of X-ray Tubes Opole University of Technology

Zaletą tej technologii jest to, że możemy sterować emisją z dowolnych mikroostrzy uzyskując tym samym dowolny, zaprogramowany kształt ogniska.

4.2. Źródła elektronów na bazie nanorurek węglowych

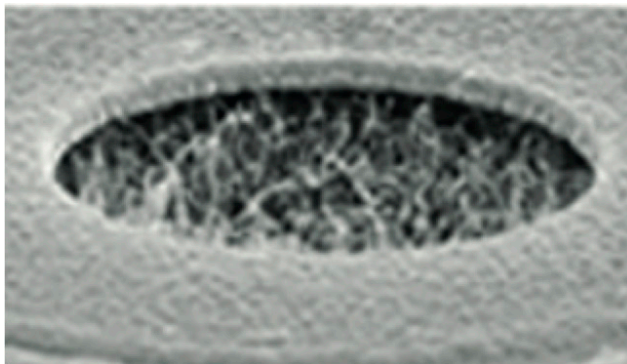
Nanorurki węglowe zsyntetyzowane po raz pierwszy w 1991 r. są wyjątkowymi materiałami pod względem emisji polowej elektronów. Ich struktura składa się z pojedynczej warstwy atomów węgla formowanych, jako grafen. Średnica nanorurki jest rzędu nanometrów (a więc dziesiątki tysięcy razy cieńsza od ludzkiego włosa, a ich długość może być miliony razy większa). Dzięki swej idealnej rurowej budowie nanorurki węglowe posiadają unikalne własności, w tym niejako automatycznie ostre końce i duży stosunek długości do średnicy (typowo **10 nm średnicy i 20÷50 μm długości**). Tak więc zachowują się one jak malutkie działa elektronowe; charakteryzują się niską pracą wyjścia elektronów (rzędu 1,2÷2 eV), wysoką i stabilną emisją polową nawet w niskich temperaturach, doskonałą stabilnością chemiczną i termiczną.

Pierwsze próby zbudowania miniaturowej lampy rentgenowskiej z emisją elektronów z CNT prowadzono z początkiem 2000 r. w amerykańskich firmach: *Xintek, Inc.*, *Moxtek*, jak również w *Oxford Instruments, Inc.*

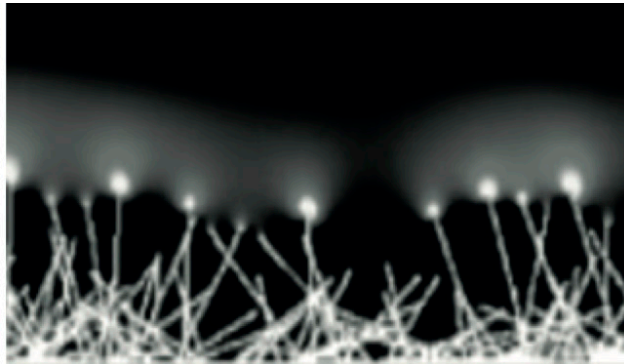


Fot. 6. Przenośny analizator rentgenowski Horizon600 z lampą ze źródłem CNT [10]

Photo 6. Horizon600 portable X-ray analyzer with a tube with a CNT source [10]



Fot. 7. Widok nanorurek węglowych [6]
Photo 7. View of carbon nanotubes [6]



Fot. 8. Emiter elektronów na bazie CNT firmy Micro-X. Komercyjna lampa dla potrzeb medycyny ww. firmy (40-120 kV, 90 mA_{max}, maksymalny czas ekspozycji 1500 ms, ciągła moc anody 28 W, masa 2,35 kg)
Photo 8. Electron emitter based on CNT by Micro-X Commercial lamp for the medical needs of the above-mentioned company (40-120 kV, 90 mA_{max}, maximum exposure time 1500 ms, continuous anode power 28 W, weight 2.35 kg)

Ta ostatnia firma wprowadziła nawet tego typu lampę do komercyjnie produkowanego spektrometru fluorescencji rentgenowskiej Horizon600.

Płaski emiter elektronów składa się z milionów takich mikroskopijnych nanorurek węglowych – fot. 7.

Australijska firma Micro-X opatentowała unikalne rozwiązanie, bazujące na amorficznym materiale matrycowym, który wiąże nieidealne nanorurki węglowe z metalową płytką. Uzyskane tą metodą emitery CNT umożliwiają uzyskanie wysokiego prądu anodowego (130 mA przez 2 sekundy), co było dotąd głównym ograniczeniem stosowania CNT w lampach rentgenowskich do zastosowań medycznych i zapewniają stabilną pracę przez cały okres eksploatacji lampy rentgenowskiej.

Firma Micro-X gwarantuje czas pracy lampy – minimum 10 lat przy typowym użytkowaniu, tj. 60 zdjęć wykonywanych dziennie. Np. standardowe prześwietlenie klatki piersiowej przy 110 kV i 3,2 mA, z ogniskiem 1,4 mm to czas trwania impulsu 78 ms. Szacuje się, że czas użytkowania lamp ze źródłem CNT jest znacznie dłuższy niż lamp z gorącą katodą.



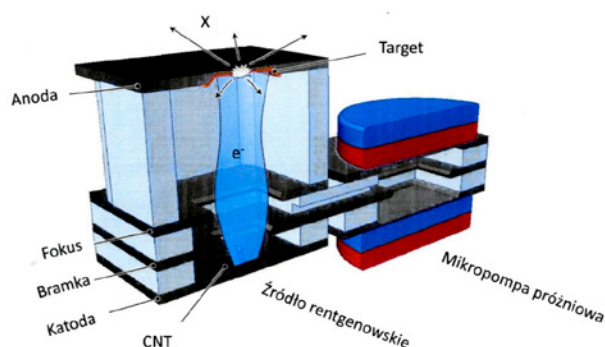
Fot. 9. Lampy z CNT firmy VSI Medical: z lewej lampa o dużej dawce (50 kV, 50 mA, Ø20×68 mm), z prawej lampa do jonizatora (5-15 kV, 3-1,5 mA, Ø34×34,35 mm)[7]

Photo 9. VSI Medical CNT tubes: on the left a high-dose lamp (50 kV, 50 mA, Ø20 × 68 mm), on the right, an ionizer lamp (5-15 kV, 3-1.5 mA, Ø34 × 34.35 mm) [7]

Aktualnie na świecie komercyjne lampy z emiterami CNT produkują następujące firmy: Micro-X Ltd (Australia), VSI Medical (Korea Południowa), Luxbright (Szwecja) – ta ostatnia w przygotowaniu.

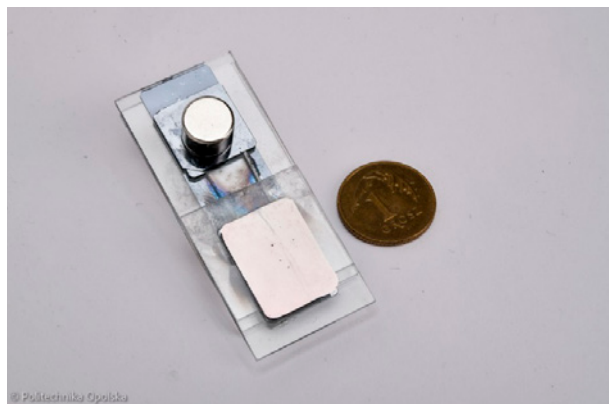
4.3. Polskie osiągnięcia w zakresie lamp rentgenowskich na nanorurkach

Na Wydziale Elektroniki Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej (Zakład Mikroinżynierii i Fotowoltaiki) od kilku już lat trwają prace pod kierunkiem prof. dr hab. inż. Anny Góreckiej-Drzazgi nad wytworzeniem kompletnego punkowego źródła promieniowania rentgenowskiego. Przełomem w pracach było opracowanie pierwszych miniaturowych **pomp próżniowych** wykonanych technikami MEMS, które umożliwiają wytworzenie wysokiej próżni w samym źródle rentgenowskim.



Rys. 6. Punktowe źródło promieniowania rentgenowskiego MEMS na nanorurkach węglowych [8]

Fig. 6. Point MEMS X-ray source on carbon nanotubes [8]



Fot. 10. Rzeczywisty widok źródła wraz z pompą

Photo 10. The actual view of the source with the micro-pump

Na rys. 6 przedstawiono schemat takiego źródła a na fot. 10 jego rzeczywisty wygląd. Jak widać na rysunku źródło takie zawiera zintegrowaną mikropompę próżniową. Całość wykonana jest z krzemu i szkła. Przewiduje się zbudowanie źródła o następujących parametrach: wysokie napięcie 30 kV, natężenie prądu 100 μ A, katoda CNT 1 mm $\times$ 1 mm lub katoda punktowa krzemowa (pojedyncza piramidka), tarcza i okienko stanowi krzem o grubości 10÷15 μ m.

5. Zakończenie

Lampy rentgenowskie z zimną emisją polową charakteryzują się wieloma zaletami w porównaniu z lampami konwencjonalnymi (z gorącą katodą). Mogą być łatwo sterowalne w czasie, mogą emitować promieniowanie rentgenowskie w krótkich czasach, posiadają małe ognisko optyczne oraz charakteryzują się małym zużyciem energii i małymi wymiarami zewnętrznymi oraz mniejszą masą.

Wydaje się, że nanorurki nadają się nie tylko jako źródło elektronów, ale także jako detektory promieniowania jonizującego. Otóż okazuje się, że nanorurki SnS (siarczek cyny) cechuje wysoki współczynnik absorpcji fotonów.

Opisana powyżej technologia przypomina przejście od żarówki Edisona na światło LED; jest to przejście od jednego metalowego włókna podgrzewanego (ok. 2300°C) do 100 mln nanostozków na chipie krzemowym emitującym cyfrowo w temperaturze pokojowej sterowany strumień elektronów.

Rysunki i fotografie z archiwum Grzegorza Jezierskiego Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich

*Grzegorz Jezierski,
Muzeum Politechniki Opolskiej
i Lamp Rentgenowskich,
Opole*

Literatura:

- [1] Eine Erinnerung an C.H.F. Miller, Hamburg, 1990
- [2] K. Besztak „Impulsowe aparaty rentgenowskie” IX Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych, Popów-2007
- [3] G. Jezierski „100-lecie lampy rentgenowskiej” XV Krajowa Konferencja Badań Radiograficznych, Popów-2013
- [4] P. Russo – Handbook of X-ray Imaging, Physics and technology, CRC Press, 2018 r.
- [5] Dokumentacja techniczna firmy Micro-X (Australia)
- [6] Hot Cathodes, Cold Cathodes Nanox (Izrael)
- [7] VSI Medical
- [8] Korespondencja z prof. Anną Górecką-Drzazgą Zakład Mikroinżynierii i Fotowoltaiki, Wydział Elektroniki Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej
- [9] <https://www.crtsiste.com>
- [10] Spinoff 2003 – National Aeronautics & Space Administration – Google Książki

RADIOGRAFIA W OCHRONIE DZIEDZICTWA KULTUROWEGO

Radiography in the protection of cultural heritage

Wojciech Głuszewski

Streszczenie: Metody radiograficzne pozwalają za pomocą promieniowań X oraz gamma (γ) wykrywać wewnętrzne niezgodności w całej objętości materiału. W zasadzie nie ma ograniczeń co do rodzaju badanych obiektów. Warunkiem jest jedynie dostęp do dwóch stron napromieniowywanego przedmiotu lub konstrukcji. Alternatywą dla analogowych, błonowych technik radiograficznych jest radiografia cyfrowa. O jakości obrazu i dawce pochłoniętej decyduje technologia przetwarzania promieniowania hamowania na sygnał cyfrowy. Postęp w radiografii stymulowany jest głównie przez zastosowania medyczne i przemysłowe. Z nowych rozwiązań mogą korzystać również konserwatorzy dzieł sztuki. Dużą rolę w upowszechnianiu technik jądrowych w identyfikacji i konserwacji obiektów istotnych dla dziedzictwa kulturowego odgrywa Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej (MAEA). W artykule omówiono niektóre aspekty zastosowania radiografii w muzealnictwie dyskutowane w trakcie konferencji MAEA zorganizowanej w Narodowym Muzeum Wojny na Malcie.

Abstract: Radiographic methods make it possible to detect internal and subsurface imperfections in the entire volume of the material using X and gamma rays (γ). In principle, there are no restrictions as to the type of tested objects. The condition is only access to two sides of the irradiated object or structure. An alternative to analog, film radiography techniques is digital radiography. The quality of the image and the absorbed dose are determined by the technology of converting the braking radiation (bremsstrahlung) into a digital signal. Advances in radiography are mainly driven by medical and industrial applications. The new solutions can also be used by art conservators. The International Atomic Energy Agency (IAEA) plays a major role in the dissemination of nuclear techniques in the identification and conservation of objects significant for cultural heritage. The article discusses some aspects of the use of radiography in museology discussed during the IAEA conference organized at the National War Museum in Malta.

Słowa kluczowe: radiografia, konserwacja dzieł sztuki, promieniowanie hamowania, fluorescencja rentgenowska

Keywords: radiography, conservation of works of art, bremsstrahlung, X-ray fluorescence

Wstęp

Dziedzictwo kulturowe to (obok przekazów ustnych i tradycji) różnorodne obiekty kultury materialnej. Muzealnicy i historycy sztuki starają się poznać ich historię i zachować w dobrym stanie dla przyszłych pokoleń [1]. Bardzo pomocna w pracy konserwatorów jest ocena aktualnego fizykochemicznego stanu artefaktów [2]. Wiedza zdobyta z pomocą analitycznej chemii pozwala często odtworzyć dzieje obiektu o nieznanym pochodzeniu [3]. Dzięki temu wzbogacone zostaje również dziedzictwo kulturowe w jego niematerialnym wymiarze. Prace chemików i fizyków nad przedmiotami o zwykle unikalnej historycznej lub/i artystycznej wartości mają nierutynowy charakter. Każde badanie to indywidualnie zadanie, które wymaga dużej inwencji naukowców oraz najczęściej oryginalnego wykorzystania analitycznej aparatury. Można powiedzieć, że w tych badawczych pracach jest więcej „sztuki niż nauki”. Dodatkowo metody analityczne należy sprawdzić i przetestować z punktu widzenia bezpieczeństwa historycznych materiałów. Najlepiej gdyby były to procedury nieniszczące i nieinwazyjne (niewymagające pobierania próbek). Warunek ten spełnia wiele metod diagnostycznych, które opracowano na podstawie wie-

dzy zdobytej w zakresie fotochemii i chemii radiacyjnej. Wśród technik wykorzystujących różne rodzaje promieniowań wymienić można metody: fotograficzne, mikroskopowe (np. mikroskopię elektronową), spektroskopowe (spektroskopia Ramana, IR), wykorzystujące promieniowania X (radiografia, techniki dyfrakcyjne i fluorescencyjne). Nowe możliwości dają zastosowania synchrotronów i neutronowych źródeł promieniowania.

Chemia radiacyjna a fotochemia

Chociaż fotochemia i chemia radiacyjna mają wiele obszarów wspólnych, to jednak należy pamiętać o zasadniczych różnicach w oddziaływaniu promieniowania niejonizującego i jonizującego na materię. Pierwsze działa selektywnie i jest pochłaniane jedynie przez grupy chromoforowe. Natomiast promieniowanie jonizujące oddziałuje na wszystkie składniki proporcjonalnie do ich udziałów elektronowych. W praktyce niewielkie ilości związków chemicznych, które odgrywają podstawową rolę w fotochemii nie są widoczne dla promieniowania jonizującego [4].

Warto na wstępie wyjaśnić również kilka kwestii nomenklaturowych. Promieniowanie rentgenowskie, charakterystyczne dla wzbudzonego atomu ma subtel-

ną naturę i powstaje w wyniku przeskoku elektronów między powłokami elektronowymi. W radiografii wykorzystuje się natomiast elektromagnetyczne promieniowanie hamowania o ciągłym widmie, powstające przy oddziaływaniu cząstek obdarzonych ładunkiem z materią. Najczęściej w tym celu napromieniowuje się wiązką elektronów matryce z metali ciężkich. Oba rodzaje promieniowań (rentgenowskie i hamowania) są nierozłączne i ogólnie nazywa się je promieniowaniem X. Przykładowo we fluorescencji rentgenowskiej promieniowanie hamowania służy do wzbudzenia analizowanego następnie promieniowania rentgenowskiego. Alternatywnym rozwiązaniem w radiografii jest promieniowanie gamma emitowane przez wybrane radionuklidy.

Badania radiograficzne

Metody radiograficzne pozwalają za pomocą promieniowań jonizujących badać w zasadzie dowolny materiał w całej jego objętości. Warunkiem jest jedynie dostęp do dwóch stron przedmiotu. Wszystko po to, aby móc z przodu umieścić źródło promieniowania (fot. 1), a za artefaktem błonę rentgenowską inaczej zwaną kliszą (fot. 2). W nowoczesnych rozwiązaniach zamiast filmu używa się ekranu fosforowego lub detektora cyfrowego. Po zainstalowaniu aparatury klisza zostaje napromieniowana, a następnie wywoływane są z niej obrazy. I właśnie na ich podstawie wskazuje się miejsce i rozmiar potencjalnej wady, a także określa jej strukturę. W szczególności radiograficznej defektoskopii podlegają metale i ich stopy oraz materiały niemetalowe o grubości kilkudziesięciu milimetrów. Pokrewnymi zagadnieniami są znacznie rzadziej stosowana radiografia neutronowa oraz wspomniana fluorescencja rentgenowska.



Fot. 1. Źródło promieniowania jonizującego umieszczone przed obrazem z kolekcji Muzeum Narodowego Malty. W celu wykonania oceny całego płótna należało wykonać kilku pomiarów kolejnych jego fragmentów (fot. W. Głuszewski)

Photo 1. A source of ionizing radiation placed in front of the tested object (painting from the collection of the National Museum of Malta). In order to evaluate the entire canvas, several measurements of its various fragments had to be made (photo by W. Głuszewski)

Radiografia cyfrowa

W klasycznym badaniu rentgenowskim obraz jest utrwalany na specjalnej światłoczułej kliszy, a następnie wywoływany. W radiografii cyfrowej (radiowizjografii) wynik otrzymywany w postaci cyfrowej od razu trafia do pamięci komputera. Napromieniowanie trwa zaledwie kilka sekund, co pozwala na zmniejszenie dawki promieniowania. Obraz utrwalony na kliszy fotograficznej nie może być zmieniony. Natomiast technika cyfrowa pozwala powiększyć lub zmniejszyć obraz, wyświetlać negatyw bądź pozytywny, zmieniać kontrast oraz wysycenie. Można także szczegółowo analizować wybrany fragment i wykonywać pomiary. W radiologii tradycyjnej rolę nośnika danych spełnia klisza fotograficzna, która może ulec zniszczeniu. Cyfrowy obraz, który łatwo archiwizować jest trwały i się nie starzeje. Z tych powodów płyty selenowe, fosforowe, krzemowe oraz cyfrowa obróbka obrazu uzyskiwanego w czasie rzeczywistym zajmują naczelne miejsce we współczesnej radiografii.

W systemach bezpośrednich (DR) obraz rentgenowski pojawia się na ekranie komputera niemal natychmiast po ekspozycji na promieniowanie rentgenowskie. W systemach pośrednich (CR) rejestratorem obrazu jest płyta pamięciowa pokryta fosforem służącym do zapisu obrazu utajonego, który następnie odczytywany jest w specjalnym skanerze.

Należy jednak zwrócić uwagę, że najlepsze systemy radioskopii cyfrowej zbliżają się dopiero do standardowej radiografii na błonie. Badania radiograficzne o podwyższonej czułości na błonach drobnoziarnistych, posiadają wciąż jeszcze wyższą rozdzielczość i wykrywalność szczegółów.

Ekran fosforowy

Warto wyjaśnić, że stosowane współcześnie tzw. fosforowe ekrany, czyli radioluminescencyjne wyświetlacze z pamięcią (ERLM) mają niewiele wspólnego z pierwiastkiem fosforem (fot. 2). Co prawda pokrewny termin fosforescencja, oznaczający świecenie różnych substancji po wcześniejszym wystawieniu na działanie światła, pochodzi rzeczywiście od fosforu. Jednak zjawisko jego świecenia to chemiluminescencja, czyli emisja światła powstającego w wyniku reakcji chemicznych. W tym przypadku jest to utlenianie białego fosforu. Można dodać, że efekt świecenia uzyskamy również w trakcie przejścia tlenu ze stanu singletowego ($^1\text{O}_2$) do trypletowego ($^3\text{O}_2$). Tak na marginesie, nie wszyscy może wiedzą, że oddychamy tlenem dwuatomowym, a więc trypletowymi cząsteczkami, które posiadają tylko jedno wiązanie między atomami tlenu.

ERLM to folie zawierające kryształki fluorobromku domieszkowanego bardzo niskim stężeniem dwuwartościowych jonów europu (BaFBr:Eu^{2+}). Materiał tego

typu ma zdolność magazynowania energii w strukturze krystalicznej przekazywanej do materiału przez promieniowanie jonizujące. Odłożona energia np. promieniowania hamowania jest uwalniana przez fotostymulację laserową. Cykl użytkowania ERLM składa się, więc z trzech ekspozycji. W pierwszym etapie promieniowanie jonizujące (X, gamma...) zapisuje obraz. Następnie obraz ten jest odczytywany (uwalniany) linia po linii wąską wiązkę światła widzialnego. Zwykle używa się do tego lasera HeNe. Na koniec w celu zresetowania ekranu wielokrotnego użytku naświetla się go intensywnym światłem widzialnym. ERLM można wystawiać na działanie światła, o ile w jego wrażliwej warstwie nie ma ukrytych obrazów.

Sekwencję zachodzących zjawisk można inaczej opisać w sposób następujący. Promieniowania jonizujące generują lawiny ekscytonów (kwazicząstek powstałych w wyniku korelacji elektronu i dziury w domieszkowanym kryształ). Dwuwartościowe jony europu działają, jako aktywatory, uwalniając elektrony w paśmie przewodnictwa kryształu (przechodząc na trzeci stopień utlenienia). Elektrony są pułapkowane w metastabilnych centrach zwanych „centrami PSL”, których stężenia są proporcjonalne do ilości energii przekazywanej przez promieniowanie. Utajonym obrazem jest, więc energia proporcjonalna do pochłoniętej dawki promieniowania. Obraz odczytujemy za pomocą skanera wyposażonego w laser o określonej długości fali (zwykle 635 nm). W wyniku naświetlania fotostymulowane elektrony uwalniane z pułapek rekombinują z dziurami emitując luminescencyjny sygnał o długości fali zwykle około 390 nm. Fotopowielacz przekształca światło w elektrony i wzmacnia sygnał przetwarzając go w postać cyfrową. Po odczytaniu energia zawarta jeszcze w centrach PSL jest całkowicie uwalniana poprzez wystawienie ekranu na intensywne białe światło. ERLM może być ponownie użyty tysiące razy.

Ekran fosforowy jest łatwy w użytkowaniu. Nie jest potrzebna ciemnia do wyładowania kasety. Większość

producentów oferuje automatyczne urządzenia do rozładunku i odczytu. Przy zapisie cyfrowym do wywołania obrazu nie używa się środków chemicznych, co eliminuje koszty utylizacji i ponownego przetwarzania odpadów. Cyfrowy format obrazów pozwala na bardzo wyrafinowaną i ukierunkowaną eksploatację niemal natychmiast po napromieniowaniu. Używa się w tym celu oprogramowania do szybkiego przetwarzania obrazu. Wyniki mogą być udostępniane w sieciach komputerowych wewnątrz lub poza laboratoriami w celu przetwarzania, diagnozowania i archiwizacji.

Badania obiektów historycznych

Ważną rolę w upowszechnianiu technik jądrowych w identyfikacji i konserwacji obiektów istotnych dla dziedzictwa kulturowego odgrywa MAEA [5]. Przykładowo w czerwcu tego roku zorganizowano w Valletcie stolicy Republiki Malty regionalny kurs na temat zastosowania radiografii (RT) w ochronie obiektów o znaczeniu historycznym (Regional Training Course on Radiography for Cultural Heritage Preservation). W trakcie szkolenia omówiono następujące tematy: ochrona dziedzictwa kulturowego w kontekście wykorzystania promieniowań jonizujących, unikatowe zalety radiografii, zastosowania gamma radiografii i tomografii komputerowej w ochronie zabytków, przepisy prawne oraz międzynarodowe standardy w zakresie ochrony radiologicznej [6, 7], mobilna radiografia. Przeanalizowano kilka przykładów wykorzystania radiografii oraz fluorescencji rentgenowskiej w konserwacji rzeźb i obrazów. Porównano wady i zalety tradycyjnej rentgenowskiej kliszy oraz radiografii cyfrowej. Odbyły się również zajęcia praktyczne z wykorzystaniem przenośnego urządzenia przemysłowego do radiografii cyfrowej.

Badania medyczne

Postęp w zakresie radiografii związany jest głównie z jej medycznymi i przemysłowymi zastosowaniami. Konserwatorzy dzieł sztuki korzystają jedynie z tych osiągnięć, często współpracując z zakładami medycyny nuklearnej. Również defektoskopy rutynowo stosowane w branżach: motoryzacyjnej, grzewczej i sanitarnej wykorzystuje się w celu poznania budowy i stanu zachowania dzieł sztuki lub zabytków oraz ich składu chemicznego. Początkowo w radiologii używano klisz fotograficznych. Niewielka czułość wymagała stosowania długich czasów ekspozycji. Pacjent otrzymywał dawkę promieniowania wielokrotnie wyższą od stosowanych dzisiaj [8]. Później pojawiły się specjalistyczne klisze rentgenowskie. Czas badania znacznie się skrócił i zmalała dawka. Współczesne elektroniczne przetworniki obrazowe przypominają elementy światłoczułe, stosowane w aparatach i kamerach cyfrowych. Zadowolają



Fot. 2. Ekran fosforowy demonstruje David Baratto ekspert MAEA z firmy Gillardoni. Jak widać, obejmuje on około 25% płótna (fot. by W. Głuszewski)

Photo 2. Phosphor screen before being placed behind the image. As you can see, it covers about 25% of the canvas (photo by W. Głuszewski)

się one niewielką ilością promieniowania, a wynik jest dostępny niemal natychmiast. Zdarza się, że trzeba ocenić kształt, wymiary i wzajemne położenie narządów, robi się wtedy kilka zdjęć. Metoda wymaga od radiologa doskonałej wyobraźni przestrzennej. Z pomocą przychodzi rentgenowska tomografia komputerowa. Źródło promieniowania i detektory obracają się wokół pacjenta, wykonując serię zdjęć (czasami ponad 200) pod różnymi kątami, a komputer oblicza trójwymiarowy obraz narządów. Ceną jest większa dawka pochłoniętego promieniowania. Zamiast pacjenta można badaniu poddać obiekt historyczny i uzyskać jego trójwymiarowy obraz.

Badania radiologiczne obrazów

Za pomocą promieniowania jonizującego można w sposób nieniszczący badać np. obrazy starych mistrzów na płótnie i drewnie, rzeźby, starodruki, dokumenty archiwalne, instrumenty muzyczne, obiekty etnograficzne lub archeologiczne oraz historyczne budowle. Radiografia jest obecnie podstawowym rodzajem diagnostyki malarstwa. Wykorzystuje się ją do analizy zastosowanych przez artystę technik i technologii, określenia stanu zachowania dzieła oraz zakresu wcześniejszych ingerencji konserwatorskich. Badania radiograficzne umożliwiają spektakularne odkrycia przemalowań obrazów wykonanych na płótnie lub drewnie. Zdarzało się, że malarze z jakichś powodów zmieniali koncepcję i na gotowym już praktycznie dziele nanosili istotne zmiany. W efekcie powstawały dwa obrazy jeden widoczny dla widza i drugi ukryty pod spadem. Teoretycznie można współcześnie dzięki technikom radiografii rentgenowskiej spróbować odtworzyć „oryginalną” kopię dzieła w jego pierwotnej wersji. Przykładem jest obraz olejny maltańskiego artysty Giuseppe Cali „Śmierć Draguta”. Został on namalowany w 1867 r., po powrocie Caliego na Maltę po dwóch latach spędzonych w Neapolu. Tematem płótna jest śmierć osmańskiego generała Draguta podczas Wielkiego Oblężenia Malty w 1565 r. Pierwsza wersja obrazu różni się w wielu szczegółach od dzieła oglądanego w świetle widzialnym.

Radiacyjna konserwacja drewna

Bardzo często badania rentgenowskie są pierwszym etapem konserwacji obiektów drewnianych. Przykładowo w konsolidacji tzw. mokrego drewna na wstępie sprawdza się, czy znajdują się w nim elementy metalowe. Głównym zadaniem konserwatora jest usunięcie wilgoci lub wody i wprowadzenie w to miejsce preparatu, który będzie utrzymywał całą strukturę obiektu. Impregnat powinien być odporny na czynniki atmosferyczne, charakteryzować się dużą odpornością mikrobiologiczną i nie powinien zmieniać barwy



Fot. 3. Sala II wojny światowej w Narodowym Muzeum Wojny w Valletcie. Na ścianie widać fragment powiększonej fotografii przedstawiającej niemieckich żołnierzy łamiących polski szlaban. Zdjęcie symbolizuje napad III Rzeszy na Polskę

Photo 3. World War II Room at the National War Museum in Valletta. On the wall there is a huge enlargement of the photograph of German soldiers breaking the Polish barrier. The photo symbolizes the attack of the Third Reich on Poland



Fot. 4. Poddana konserwacji flaga maltańskich piratów (fot. by W. Głuszewski)

Photo 4. The flag of the Maltese pirates under conservation (photo by W. Głuszewski)



Fot. 5. Tarcza rycerza maltańskiego (fot. by W. Głuszewski)

Photo 5. Shield of the Maltese knight (photo by W. Głuszewski)

obiekty. Jeżeli istnieje zagrożenie, że w tradycyjnym, długotrwałym procesie konserwacji z zastosowaniem poli(tlenku etylenu) fragmenty metalowe mogą ulec korozji, warto zastosować bardzo szybkie sposoby radiacyjnej konsolidacji. Tak więc punktem wyjścia w zabezpieczeniu artefaktów wydobytych z wody jest ich radiacyjna inspekcja pod kątem poszukiwania elementów o dużej gęstości [9].

Podsumowanie

Konserwatorzy dzieł sztuki korzystając ze zdobytych naukowych w radiografii, muszą stale uzupełniać wiedzę na temat najnowszych technik RT. W praktyce to kustosze, a więc osoby odpowiedzialne za bezcenne niekiedy dzieła sztuki muszą zdecydować, czy wystarczy projekcyjna radiografia dwuwymiarowa na filmie lub detektorze cyfrowym, czy też należy zastosować np. tomografię komputerową (CT). Przy skanowaniu CT źródło promieniowania i związane z nim detektory obracają się wokół obiektu, który sam porusza się w stożkowej wiązce promieniowania jonizującego. Dowolny punkt w obiekcie jest przecinany z wielu kierunków przez różne wiązki w różnym czasie. Informacje dotyczące pochłaniania promieniowania są zestawiane i poddawane obliczeniom w celu wygenerowania dwuwymiarowych obrazów w trzech płaszczyznach (osiowej, czołowej i strzałkowej), które mogą być dalej przetwarzane w celu uzyskania obrazu trójwymiarowego.

Szkolenie MAEA odbywało się w Narodowym Muzeum Wojny, mieszczącym się w forcie Saint Elmo w Valletcie. Jest to jedno z najpopularniejszych muzeów na Malcie. Podczas II wojny światowej była tutaj szkolona obsługa dział przeciwlotniczych. W roku 2015 muzeum zostało odnowione, a jego kolekcja zawiera teraz ekspozycję poczynając od czasów epoki brązu do roku 2004. Głównym wykładowcą kursu był David Baratto z firmy Gilardoni. Założone przez wybitnego specjalistę dr. inż. Arturo Gilardoni przedsiębiorstwo jest jednym z wiodących producentów sprzętu rentgenowskiego i ultrasonograficznego na świecie. Firma jest obecna

w trzech sektorach: medycznym, bezpieczeństwa i badań nieniszczących (NDT).

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa

Literatura

- [1] W. Głuszewski, Features of radiation conservation of high collections of objects about of historical interest, *Journal of Heritage Conservation*, 2015, 41, 84 – 91 (13)
- [2] W. Głuszewski, Disinfection of cultural heritage objects using electron beam accelerators, Chapter 20, 173 – 177, IAEA, Radiation Technology Series No. 6, Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation, IAEA, 2017
- [3] Tomasz Kalicki, Wojciech Głuszewski, Marcin Frączek, Paweł Przepióra, Luminescencyjne datowania w badaniach geoarcheologicznych, *PTJ*, 3 (64), 2021, 34-41
- [4] W. Głuszewski, Efekty ochronne w radiolizie naturalnych i syntetycznych polimerów, *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*, 2022, 1, 123, 22-26
- [5] J. Perkowski, W. Głuszewski, Preservation of large collections of artefacts, Chapter 18, 157 – 162; Radiation Technology Series No. 6, Uses of Ionizing Radiation for Tangible Cultural Heritage Conservation, IAEA, 2017
- [6] Wojciech Głuszewski, Identyfikacja i konserwacja dzieł sztuki a ochrona radiologiczna, *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna, Biuletyn Informacyjny Państwowej Agencji Atomistyki*, 2017, 108, 2, 32-39
- [7] M. Kubicka, W. Głuszewski, Nowe Kierunki rozwoju bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce, *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*, 2022, 2, 124, 36-37
- [8] Wojciech Głuszewski, Dekada Muzeum Politechniki Opolskiej i Lamp Rentgenowskich, *Bezpieczeństwo Jądrowe i Ochrona Radiologiczna*, 2021, 4, 52-53
- [9] Wojciech Głuszewski, Hanna Lewandowska, Jarosław Sadło, Laurent Cortella, Radiacyjna konserwacja naturalnych i syntetycznych tworzyw polimerowych, *Materiały konferencji: Analiza chemiczna w ochronie zabytków*, Warszawa, 2021, 31-33



OFERTA APR1400 DLA POLSKICH DOSTAWCÓW

Koreańska firma Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) wspólnie z Koreańskim Towarzystwem Nukleonicznym (KNA) oraz Izłą Gospodarczą Energetyki i Ochrony Środowiska (IGEOS) zorganizowały 10 listopada 2022 r. w Warszawie konferencję zatytułowaną APR1400 SUPPLIERS SYMPOSIUM. W spotkaniu uczestniczyli przedstawiciele polskiego rządu oraz liczne grono przedstawicieli krajowych instytucji przemysłowych i naukowych, które liczą na udział w budowie elektrowni jądrowej. W trakcie konferencji oficjalnie podpisano 13 memorandum o współpracy z polskimi firmami. Po części oficjalnej i prezentacji reaktora APR1400 odbyły się spotkania B2B między koreańskimi i polskimi przedsiębiorcami, na których omawiano szczegóły przyszłej współpracy.

Poinformowano jednocześnie, że 9 listopada br. firma Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) rozpoczęła badanie terenu pod budowę elektrowni jądrowej w Pątnowie. Zespół badawczy KHNP, składający się z przedstawicieli firm zaangażowanych w projekt,



Fot. 1. Uczestnicy spotkania. KGHM rozpoczęła badania terenu pod budowę elektrowni jądrowej w Pątnowie (fot. KGHM)

w tym KEPCO E&C, odwiedził potencjalną lokalizację elektrowni jądrowej w Pątnowie. Delegacja KHNP spotkała się również z przedstawicielami ZE PAK, w tym z Zygmuntem Solorzem-Żakiem, Przewodniczącym Rady Nadzorczej spółki.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POLSKIE SUKCESY W PROGRAMIE EURATOM

W czerwcu br., Komisja Europejska podpisała 28 nowych umów o udzielenie dotacji, na łączną kwotę 100 mln euro oraz umowy na uruchomienie 2 partnerstw, w ramach programu Euratom na lata 2021-2025. Był to pierwszy konkurs w tym programie, w obecnej perspektywie finansowej. Zwycięskie projekty przyczynią się do poprawy bezpieczeństwa jądrowego, usprawnią gospodarkę odpadami promieniotwórczymi, przyniosą nowe zastosowania technologii jądrowych poza energetyką oraz zwiększą skalę wykorzystania promieniowania jonizującego w medycynie.

Ogółem na konkurs (HORIZON-EURATOM-2021-N-RT-01) wpłynęło 51 wniosków projektowych od konsorcjów z całej Europy. W złożonych wnioskach projektowych występowali też partnerzy z krajów takich, jak: Ukraina, Szwajcaria, Wielka Brytania, Norwegia, Japonia i Stany Zjednoczone. 28 projektów zostało skierowanych do finansowania, zaś 5 projektów znalazło się na liście rezerwowej, i jeżeli Komisja Europejska znajdzie dodatkowe fundusze w budżecie, także i one mogą zostać skierowane do finansowania.

Wśród podpisanych z Komisją Europejską umów był m.in. wniosek dotyczący uruchomienia nowego europejskiego partnerstwa – **PIANOFORTE (European Partnership for Radiation Protection Research)**, które

rego partnerem jest **Narodowe Centrum Badań i Rozwoju**. Inicjatywa ma przyczynić się do poprawy ochrony



społeczeństwa, pracowników, pacjentów i środowiska przed narażeniem środowiskowym, zawodowym i medycznym na promieniowanie jonizujące. Partnerstwo skupia 58 partnerów reprezentujących 22 kraje Unii Europejskiej, a także Wielką Brytanię i Norwegię, a koordynowane jest przez Francuski Instytut Ochrony Radiologicznej i Bezpieczeństwa Jądrowego (IRSN). Działania partnerstwa zaplanowano na 5 lat, do roku 2027.

Wszystkich zainteresowanych pozyskaniem informacji na temat partnerstwa, a zwłaszcza planowanych, pod jego egidą, konkursów zachęcamy do kontaktu z Biurem Współpracy Międzynarodowej NCBR. Kierownikiem sekcji, która zajmować się będzie partnerstwem jest Pani Joanna Makocka.

W omawianym konkursie **polskie instytucje koordynują 2 zwycięskie projekty**.

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej jest koordynatorem projektu RADOV – RADIation harvesting of bioactive peptides from egg prOteins and their integration in adVanced functional products”.



Prace w projekcie dotyczyć będą nowych technik radiacyjnej fragmentacji obecnych w jaju kurzym protein, tak by można uzyskać z nich bioaktywne peptydy a te z kolei wykorzystać w hydrożelowych, antybakteryjnych opatrunkach. Budżet projektu wynosi 2 mln euro, a w skład konsorcjum wchodzi 9 partnerów z 5 krajów europejskich.

Projekt oficjalnie rozpocznie się we wrześniu 2022 r. i będzie trwał 4 lata. Osoby zainteresowane pozyskaniem szczegółowych informacji mogą kontaktować się z dr Dagmarą Chmielewską – Śmietanko z ICHTJ.

Koordinatorem drugiego projektu jest Narodowe Centrum Badań Jądrowych.

SECURE

Projekt **SECURE (Strengthening the European Chain of Supply for next generation medical Radionuclides)** dotyczy zapewnienia dostępności izotopów promieniotwórczych do celów medycznych tak, aby zapewnić trwałość ich dostaw zabezpieczając w ten sposób potrzeby leczenia w Europie. Prace w ramach projektu skoncentrują się na poszukiwaniu rozwiązań w zakresie projektowania tarcz do napromieniania oraz metod wytwarzania izotopów medycznych, zarówno tych stosowanych obecnie, jak i nowych izotopów przeznaczonych do terapii izotopowej i diagnostyki. Projekt rozpocznie się oficjalnie w październiku 2022 r. i potrwa do września 2025 r. Za realizację projektu odpowiadać będzie Ośrodek Radioizotopów POLATOM, prof. dr inż. Renata Mikołajczak.

Do ciekawszych projektów należy również projekt **ENEN2plus (Building European Competence through continuous Advanced and Structured Education and training Actions)**, który ma na celu budowanie kompetencji z zakresu technologii jądrowych poprzez działalność edukacyjną i szkoleniową. Nad poprawą kompetencji w tym zakresie pracować będzie przez 4 lata 51 partnerów z 3 kontynentów. Polskim partnerem w projekcie jest Narodowe Centrum Badań Jądrowych, dział Edukacji i Szkoleń.

Ogólnie wyniki konkursu okazały się dużym sukcesem dla polskich jednostek. W złożonych projektach znalazło się 8 polskich jednostek (niektóre były członkami kilku konsorcjów projektowych). Wśród zwycięskich projektów z uczestnikami z Polski znalazły się również, niewymienione wcześniej, projekty: INNUMAT i Gemini 4.0.

Wszystkim serdecznie gratulujemy i zachęcamy do zbierania sił na nowy konkurs, w ramach Euratom, który spodziewany jest w styczniu 2023 r.

O pozostałych projektach i wszelkich nowinkach w ramach programu Euratom, przeczytaj Państwo na stronach Komisji Europejskiej: <https://lnkd.in/ezrcgNe7> oraz Krajowego Punktu Kontaktowego: www.kpk.gov.pl

Aneta Maszewska,
Krajowy Punkt Kontaktowy
Narodowe Centrum Badań i Rozwoju,
Warszawa



60-LECIE UTWORZENIA WYDZIAŁU MECHANICZNEGO ENERGETYKI I LOTNICTWA

15 października 2022 r. na terenie kampusu Politechniki Warszawskiej, odbyły się uroczystości związane z 60-leciem utworzenia Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W trakcie uroczystości nastąpiło odsłonięcie pełnowymiarowej repliki szybowca PW 5 – dzieła inżynierów oraz studentów Wydziału MEiL.

Z wyrazami szacunku,
Komitet organizacyjny



IDEA-BIZNES – KLIMAT 2022

Bank Ochrony Środowiska, obserwując zachodzące procesy oraz czerpiąc z wieloletniej praktyki i doświadczenia w finansowaniu projektów przyjaznych środowisku i zielonych technologii, chce mieć swój wkład we wspieraniu zachodzących przemian oraz aktywnie uczestniczyć w debacie publicznej wokół nich się toczącej. W celu omówienia roli przedsiębiorstw w przeciwdziałaniu zagrożeniom związanym ze zmianami klimatu BOŚ zorganizował 27 października w Warszawie drugą już konferencję „Idea-Biznes-Klimat”. Intencją organizatorów było pokazanie wzajemnych oddziaływań pomiędzy procesami klimatycznymi i biznesowymi. Ważne wątki poruszane podczas paneli obejmowały m.in. oczekiwane zmiany warunków prowadzenia działalności gospodarczej, przewartościowanie pozycji konkurencyjnej przedsiębiorstw (w tym w bankowości, budownictwie, motoryzacji czy energetyce), zmiany preferencji konsumentów, jak i transformację energetyczną. Poruszane tematy odnosiły się do wielu zagad-

nień i pokazały złożoność wyzwania, jakim jest transformacja energetyczna. Zgodnie z koncepcją wydarzenia, prezentacje zaproszonych prelegentów, wybitnych ekspertów w swoich dziedzinach były zwięzłe, treściwe i stanowiły punkt wyjścia do merytorycznych dyskusji wśród panelistów. Formuła konferencji zakładała także możliwość wzięcia aktywnego udziału w toczących się debatach przez znajdujących się na sali gości. Bardzo ciekawy był panel „Energetyka: Energia słoneczna, wiatr, biogaz, wodór, a może atom? Polski miks energetyczny bez węgla”. Moderatorem dyskusji był Dominik Brodacki z Polityki Insight. W panelu uczestniczyli: Mirosław Bendzera (prezes zarządu FAMUR S.A.), Bartosz

Fedurek (dyrektor ds. Rozwoju Projektów Ørsted Sp. z o.o.), Przemysław Kołodziejak (prezes zarządu PGE Energia Ciepła S.A.), Paweł Puacz (partner w Clifford Chance kierujący zespołem ds. Energetyki i Zasobów Naturalnych), Mariusz Samordak (dyrektor zarządzający kierujący Pionem Ekologii, Taksonomii i Analiz w Banku Ochrony Środowiska S.A.). Wszyscy panteiści byli zgodni, że energetyka jądrowa będzie istotnym elementem krajowego miksu energetycznego.

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



EUROPOWER 2022

W listopadzie odbyła się kolejna, 36. już edycja konferencji energetycznej EuroPOWER. Towarzystwo jej 6. edycja konferencji OZE POWER. Organizatorzy podobnie jak w ubiegłych latach postawili sobie za cel omówienie najbardziej aktualnych wyzwań i problemów dotyczących sektora energetycznego w Polsce oraz w regionie CEE. Tradycją już się stało, że co pół roku wszyscy kluczowi przedstawiciele branży gromadzą się, aby wspólnie przedyskutować najważniejsze aspekty funkcjonowania i rozwoju branży energetycznej. Organizowane przez MMC Polska wydarzenie, jest najważniejszą konferencją energetyczną w kraju. Spotkania są doskonałą platformą dialogu i stanowią miejsce konsultacji społecznych przedstawicieli rządu ze wszystkimi reprezentantami branży. Tworząc program wydarzenia rada naukowa bierze pod uwagę aktualną

sytuację ekonomiczno-polityczną. Omawiane są więc najbardziej aktualne problemy z którymi zmagają się cały sektor. Do wyzwań tych należą m.in.: rozwój wielkoskalowych farm fotowoltaicznych, energetyki wiatrowej, nowoczesnego i efektywnego ciepłownictwa, energetyki rozproszonej, cyfryzacji i wszystkich nowoczesnych technologii dla sektora oraz energetyka jądrowa. Zakres tematyczny konferencji współtworzony jest wspólnie przez Rady Programowe EuroPower oraz OZE Power. W jej skład wchodzi prezesi i członkowie zarządów kluczowych dla rynku podmiotów, reprezentanci administracji centralnej, regulator, przedstawiciele świata nauki i stowarzyszeń branżowych, którzy wspólnie wpływają na kształt przyszłości energetyki i polskiej gospodarki.

W tym roku dużo mówiono o energetyce jądrowej i to w kontekście zarówno małych jak i dużych reaktorów. Tematowi temu poświęcono osobny panel, wprowadzeniem do którego był referat Andrzeja Piotrow-



Fot. 1. Dyskusja panelowa na tegorocznej, 36. edycji konferencji EuroPower (fot. Organizator)

skiego (Wiceministra w Ministerstwie Energii w latach 2016-2018) zatytułowany „Zróznicowana odpowiedź energetyki jądrowej – nowy stan gry w transformacji systemu energetycznego”. Następnie do dyskusji zaproszono: Pawła Pytlarczyka (Zastępca Dyrektora Departamentu Energii Jądrowej, Ministerstwo Klimatu i Środowiska), Roberata Rudicha (Energy Attaché and Director of the Department of Energy's Office, Ambasada Stanów Zjednoczonych w Polsce), Mirosława Kowalika (Prezes Zarządu, Westinghouse Electric Poland), Anni Jaarinen (Head of Nuclear Services, Fortum), Macieja Lipkę (Head of Reactor Analyses and Measurements Group, Narodowe Centrum Badań Jądrowych), Vladimira Novaka (CCO, Ultra Safe Nuclear Corporation). Panel poprowadził Paweł Żbikowski (Redaktor Naczelny, nuclear.pl). Ekspertcy mieli za zadanie odpowiedzieć na następujące pytania: Jak, kiedy i dlaczego właśnie atom może zmienić mix energetyczny w Polsce w kontekście doświadczeń wyniesionych z obecnego kryzysu przy utrzymaniu celów polityki klimatycznej? Czy energetyka jądrowa może powstać wystarczająco szybko by stanowić odpowiedź na lukę energetyczną? Małe i mikroreaktory jądrowe – przełom dla polskiej energetyki? Jak powinien zostać skonstruowany system nadzoru bezpieczeństwa jądrowego by nie hamować tempa rozwoju, ale i utrzymać rygorystyczne wymagania?

Dyskusję zdominował temat wyboru Westinghousea, jako dostawcy reaktorów dla pierwszej polskiej elektrowni jądrowej. Paweł Pytlarczyk podkreślił, że prace nad modelem finansowania elektrowni jądrowych w Polsce trwają i mają dać odbiorcom jak najniższą cenę energii, bo taki obok ochrony środowiska jest cel „atomu”. Program Polskiej Energetyki Jądrowej zakłada budowę 6-9 GW energetyki jądrowej do 2043 r. z pierwszym reaktorem do roku 2033. Uchwała rządu pozwoliła wybrać partnera technologicznego w pierwszej lokalizacji. Będzie nim amerykański Westinghouse z reaktorem AP 1000. Mirosław Kowalik tłumaczył, że wybór sprawdzonego reaktora jest dobrym rozwiązaniem dla kraju, który rozpoczyna budowę energetyki jądrowej. Uważa on, że Polska ma szansę stać się regionalnym hubem w zakresie dostarczania części do elektrowni jądrowych w regionie. Westinghouse jest gotowy także wziąć udział w budowie EJ w drugiej lokalizacji. Dyrektor Pytlarczyk odnosił się do spekulacji medialnych na temat dodatkowej opłaty na rachunku za energię mającej finansować atom. Ministerstwo energii a potem klimatu od 2015 r. przekonuje, że nie będzie potrzebne takie rozwiązanie zwane kontraktem różnicowym. Dyskutowano również nad wyborem dostawcy kolejnej elektrowni jądrowej i roli jaką mogą odegrać firmy koreańskie.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POLSKIE NOBLE 2022

Po raz kolejny Fundacja na Rzecz Nauki Polskiej przyznała indywidualne nagrody za wybitne osiągnięcia i odkrycia naukowe. Polskie Noble przyznawane są w czterech obszarach: nauk o życiu i o Ziemi, nauk chemicznych i o materiałach, nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich oraz nauk humanistycznych i społecznych. Laureaci wybierani są w drodze konkursu. Kandydatów nominują przedstawiciele środowiska naukowego, a wyboru laureatów dokonuje Rada FNP, na podstawie opinii niezależnych recenzentów i ekspertów (głównie z zagranicy). Wysokość nagrody wynosi 200 tys. zł. Uroczystości jak co roku odbyły się na początku grudnia w Zamku Królewskim w Warszawie. W 2022 r. Nagrodę Fundacji na rzecz Nauki Polskiej otrzymali: prof. Marcin Nowotny z Międzynarodowego Instytutu Biologii Molekularnej i Komórkowej w Warszawie za wyjaśnienie molekularnych mechanizmów rozpoznawania uszkodzeń DNA oraz ich naprawy, prof. Bartosz Grzybowski z Instytutu Chemii Organicznej PAN w Warszawie i Ulsan National Institute of Science and Technology w Ulsan w Republice Korei otrzymał za opracowanie i empiryczną weryfikację algorytmicznej metodyki planowania syntezy chemicznej oraz prof. Adam Łajtar z Wydziału Archeologii Uniwersytetu Warszawskiego za interpretację źródeł epigraficznych, ukazującą religijne i kulturowe aspekty funkcjonowania średniowiecznych społeczności zamieszkujących Dolinę Nilu. W obszarze nauk matematyczno-fizycznych i inżynierskich w tym roku nagrody nie przyznano.



Fot. 1. Prof. Marcin Nowotny (fot. M. Wiśniewska/FNP)

Marcin Nowotny

urodził się w Warszawie w 1973 r. Studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego ukończył w 1998 r. Stopień doktora uzyskał w 2002 r. w Instytucie Biologii Doświadczalnej im. Nenckiego PAN w Warszawie, a habilitację jedenaście lat później w Instytucie Biochemii i Biofizyki PAN w Warsza-

wie. Tytuł profesora otrzymał w 2020 r. W latach 2003–2008 prof. Marcin Nowotny pracował w Narodowych Instytutach Zdrowia (NIH, National Institutes of Health) w Bethesda w USA. W roku 2008, po wygraniu międzynarodowego konkursu, został szefem Laboratorium Struktury Białka w Międzynarodowym Instytucie Biologii Molekularnej i Komórkowej w Warszawie. Dorobek naukowy prof. Nowotnego był wielokrotnie nagradzany. Do jego najważniejszych nagród i wyróżnień należą: Na-

groda Prezesa Rady Ministrów za pracę doktorską (2003), EMBO Installation Grant (2003), Early Career Scientist Award, Howard Hughes Medical Institute (2012), Krzyż Kawalerski Orderu Odrodzenia Polski (2013) oraz stypendium Academia Europaea Burgen Scholar (2013). W marcu 2020 r. prof. Nowotny wraz z 18 partnerami z Europy otrzymał grant Exscalate4CoV z programu Horyzont 2020 na poszukiwanie skutecznej terapii przeciwko wirusowi SARS-CoV-2. Oprócz działalności naukowej, prof. Nowotny angażuje się również w organizację nauki w Polsce. W latach 2018–2020 pełnił funkcję członka, a następnie przewodniczącego Komitetu Polityki Naukowej przy Ministrze Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Jest także członkiem wielu międzynarodowych towarzystw naukowych, takich jak: Academia Europaea czy European Molecular Biology Organization. Jest laureatem programów Fundacji na rzecz Nauki Polskiej: START, Idee dla Polski, Stypendia Konferencyjne oraz TEAM.

W trakcie życia organizmu materiał genetyczny kodowany w DNA i znajdujący się w jego komórkach ulega różnym uszkodzeniom. Dochodzi do nich podczas dzielenia się komórek, a także wskutek działania różnych czynników środowiskowych, takich jak np. promieniowanie ultrafioletowe czy obecność różnych szkodliwych związków chemicznych. W każdej komórce codziennie powstaje wiele tysięcy takich usterek. Dlatego komórki są wyposażone w skomplikowane i niezwykle precyzyjne mechanizmy naprawcze, które na bieżąco rozpoznają i usuwają uszkodzenia w DNA. Inaczej błędy gromadzące się strukturze kwasów nukleinowych uniemożliwiłyby sprawne funkcjonowanie komórek, a w konsekwencji tkanek, organów i całych organizmów. Zaburzenia w naprawie DNA – czyli brak stabilności DNA – są jednym z powodów powstawania i rozwoju nowotworów, chorób neurodegeneracyjnych, a także starzenia się. Prof. Marcin Nowotny opisał strukturę, scharakteryzował funkcję i wyjaśnił mechanizm działania kilku kluczowych dla biologii komórki białek i kompleksów białkowych, które wchodzi w interakcje z kwasami nukleinowymi i uczestniczą w naprawie DNA. Wyniki tych prac zostały opisane w szeregu wysoko cytowanych publikacji naukowych. Badania prof. Marcina Nowotnego dotyczą zależności pomiędzy strukturą a funkcją białek przetwarzających kwasy nukleinowe – DNA i RNA. Są to białka, które uczestniczą w syntezie, przetwarzaniu oraz utrzymaniu stabilności kwasów nukleinowych.

Bartosz Grzybowski urodził się w 1972 r. w Gdyni. W 1995 r. ukończył studia chemiczne na Uniwersytecie Yale w Stanach Zjednoczonych, a następnie w 2000 r. doktoryzował się na Uniwersytecie Harvardzkim, także w USA. Przez kolejne lata pracował w Stanach Zjednoczonych na coraz wyższych stanowiskach naukowych na Uniwersytetach Harvarda i Northwestern. W 2014 r. objął stanowisko profesora (Distinguished Profesor) chemii w UNIST – Ulsan National Institute of Science and Tech-

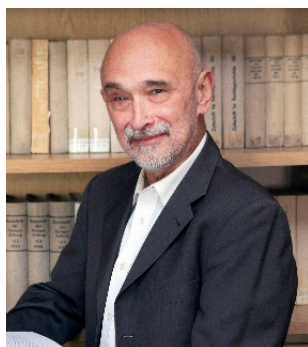


Fot. 2. Prof. Bartosz Grzybowski
(fot. M. Wiśniewska/FNP)

nology i został kierownikiem grupy badawczej w Instytucie Nauk Podstawowych (IBS, Institute for Basic Science) w Korei. Jednocześnie od 2014 r. prof. Grzybowski nadzoruje prace laboratorium badawczego w Instytucie Chemii Organicznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie. Uczony został jak dotąd wyróżniony kilku-

nastoma najważniejszymi amerykańskimi i europejskimi nagrodami naukowymi dla najwybitniejszych chemików m.in.: Nagrodą Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego (American Chemical Society Division of Colloid and Surface Chemistry Unilever Award), Nanoscience Prize, Nagrodą Feynmana w kategorii nanotechnologii, Nagrodą Miękkiej Materii Królewskiego Towarzystwa Chemicznego w Londynie, Pew Fellowship, Sloan Fellowship i Nagrodą NIH ASPIRE. W 2015 r. został członkiem brytyjskiego Królewskiego Towarzystwa Chemicznego. Reprezentował Polskę na 23. Kongresie Solvaya, jako pierwszy polski wykładowca od czasu Marii Skłodowskiej-Curie. W 2023 r. został zaproszony do wygłoszenia wykładu plenarnego na Światowym Kongresie Chemii – IUPAC World Chemistry Congress w Paryżu. Prof. Bartosz Grzybowski jest autorem prawie 300 prac z dziedziny chemii, fizyki i biologii, które były cytowane ponad 32 tys. razy (indeks Hirscha 81). To jeden z największych dorobków naukowych, jakim może pochwalić się polski naukowiec. Prof. Grzybowski był jednym z pierwszych naukowców na świecie, zajmujących się chemią organiczną, który uznał, że nadszedł czas na wykorzystanie metod obliczeniowych i opracowanie narzędzi, które mogą przewidzieć realne i wyraźnie lepsze drogi do syntezy trudnych cząsteczek organicznych. Ideę tę rozwijał przez kilkanaście lat, od czasów doktoratu na Uniwersytecie Harvarda, efektem czego było stworzenie, opartego o teorię sieci, sztuczną inteligencję i głębokie uczenie maszynowe (deep learning), jak również elementy chemii kwantowej oprogramowania Chematica oraz Allchemy. To programy, które gromadzą i uczą się ogromnej liczby typów reakcji chemicznych i ich powiązań, a następnie znajdują optymalne ścieżki syntezy pożądanych związków. Dzięki dostępowi do katalogów firm produkujących związki chemiczne, algorytmy te są m.in. w stanie wskazać drogę najprostszej syntezy konkretnego złożonego związku z tanich i łatwo dostępnych substratów. Potrafią też zaplanować syntezy bardzo skomplikowanych i nigdy przedtem nieotrzymanych związków naturalnych, a dla wcześniej syntezowanych cząsteczek, potrafią wskazać rozwiązania „obchodzące” istniejące patenty. To prawdziwy przełom w tej dziedzinie – metodyka opracowa-

na przez prof. Grzybowskiego prowadzi do osiągnięcia pożądanego celu, jakimi są skuteczne i wydajne drogi otrzymywania cząsteczek, których synteza w innym przypadku wydawałaby się prawie niemożliwa. Chematica i Allchemy to swojego rodzaju „kolektywny mózg chemiczny”, który nie tylko planuje optymalne ścieżki syntezy, ale znajduje też reakcje typu „one-pot” (czyli zachodzące w jednym naczyniu reakcyjnym). Sprzyja to ekonomizacji całego procesu.



Fot. 3. Prof. Adam Łajtar (fot. M. Wiśniewska/FNP)

Adam Łajtar urodził się w 1960 r. w Kwasówce na Podlasiu. Jest cenionym na arenie międzynarodowej polskim historykiem antyku, papirologiem, epigrafikiem i nubiologiem. Jest absolwentem Uniwersytetu Warszawskiego, gdzie uzyskał także doktorat i habilitację (odpowiednio w 1994 i 2006 r.).

Tytuł profesora otrzymał w roku 2012. Aktualnie prof. Łajtar pracuje w Katedrze Papirologii i Epigrafiki Wydziału Archeologii Uniwersytetu Warszawskiego. Jest wiceprzewodniczącym Komitetu Nauk o Kulturze Antycznej Polskiej Akademii Nauk, członkiem Komisji Archeologii Śródziemnomorskiej Polskiej Akademii Umiejętności, członkiem zarządu International Society for Nubian Studies, a także jednym z redaktorów czasopisma „The Journal of Juristic Papyrology” i serii suplementów do tego czasopisma. Aktualne zainteresowania naukowe prof. Adama Łajtara obejmują epigrafikę grecką z naciskiem na studiowanie inskrypcji ze wschodniej części basenu Morza Śródziemnego (Azja Mniejsza, Palestyna, Cypr, Cyrenajka, Dolina Nilu), religię i kulturę Egiptu grecko-rzymskiego oraz dzieje i kulturę chrześcijańskiej Nubii. Jest autorem ponad 250 opracowań naukowych, w tym sześciu książek, poświęconych tym zagadnieniom. Efektem pracy prof. Łajtara nad rozszyfrowaniem grecko-staronubijskich inskrypcji z Banganarti jest książka „A Late Christian Pilgrimage Centre in Nubia: The Evidence of Wall Inscriptions in the Upper Church at Banganarti”, wydana w 2020 r. w renomowanym wydawnictwie Peeters w Belgii. Jest to publikacja wzorcowa, spełniająca najwyższe standardy jasności, dokładności i dostępności, i stanowiąca istotny wkład w badania nad greką nubijską, językiem staronubijskim, kulturą literacką Nubii chrześcijańskiej, religijnością chrześcijańskich mieszkańców doliny Nilu, dziejami Królestwa Makurii oraz bardziej ogólnie – dziejami wschodnich Kościołów chrześcijańskich.

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa



TECHNOLOGIA W SŁUŻBIE SPOŁECZEŃSTWU

Fundacja Digital Poland wraz z firmą GfK Polonia przygotowały raport „Technologia w służbie społeczeństwu. Czy Polacy zostaną społeczeństwem 5.0? Edycja 2022”. Z publikacji można się dowiedzieć m.in., jaką wiedzę mają Polacy o SDG (The Sustainable Development Goals – Cele Zrównoważonego Rozwoju) i z jakimi strategicznymi wyzwaniem mierzy się Polska. Za pomocą ankiety wysondowano, co wiemy o nowych technologiach i cyfryzacji oraz czy gotowi jesteśmy jako społeczeństwo z nich skorzystać. Dodatkowo, oceniono, wiedzę rodaków o raportowaniu i politykach ESG, różnicach między produktem ekologicznym, a zrównoważonym, oraz wpływie ESG na wybory konsumentów oraz pracodawcy. Zapytano czy Polacy gotowi są skorzystać z usług re-commerce (odsprzedaż używanych towarów, głównie elektroniki), czy ESG liczy się w inwestowaniu i w końcu, jaka powinna być strategia i raportowanie ESG.

U źródeł ESG leżą głębokie i nieodwracalne zmiany postaw społecznych. Coraz bardziej świadome pokolenia konsumentów chcą wiedzieć, jak ich decyzje



Fot. 1. Okładka raportu „Technologia w służbie społeczeństwu. Czy Polacy zostaną społeczeństwem 5.0? Edycja 2022”

zakupowe wpływają na otoczenie, w którym żyją. Inwestorzy i instytucje finansowe świadome tych zmian wprowadzają nowe kryteria oceny przedsiębiorstw. ESG to spójna koncepcja pozwalająca mierzyć i oceniać przedsiębiorstwo pod kątem jego wpływu na szeroko pojęte otoczenie firmy, nie tylko środowisko. Trzy litery tego skrótowca oznaczają: Environmental – Social – Governance. E – obszar środowiskowy, czyli mierzący i oceniający wpływ przedsiębiorstwa na środowisko naturalne, taki jak emisja gazów cieplarnianych samodzielnie lub jako podmiot w łańcuchu wartości. S – obszar społeczny, czyli związany z ludźmi, na których wpływ ma działalność przedsiębiorstwa. G – obszar, jakości zarządzania poświęcony procesom wewnątrz firmy mającym zapewnić dotrzymanie zobowiązań, przejrzystość i wiarygodność.

Na pytanie, z jakich rozwiązań i nowych technologii chętnie byś skorzystał(a) 66% respondentów odpowie-

działo, że z elektrowni jądrowej wybudowanej w ich województwie. W pierwszej dziesiątce technologicznych rozwiązań, na które Polacy są najbardziej otwarci aż cztery, można określić mianem zielonych. Gdyby do nich zaliczyć również prąd z elektrowni jądrowej czy jedzenie uzyskiwane z inteligentnych i zielonych farm, na których pracują roboty i autonomiczne traktory to wynik ten rośnie do sześciu technologii w topowej jedenastce. Mężczyźni bardziej niż kobiety otwarci są na korzystanie z energetyki jądrowej w ich sąsiedztwie (76% vs 58%), oraz chcieliby załatwiać wszystkie sprawy urzędowe przez Internet (73% vs 59%).

Wojciech Głuszewski,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



POLSKA „PRAWDOPODOBNIENIE NAJWIĘKSZY POTENCJALNY RYNEK”

Westinghouse: Energetyka jądrowa ma w Polsce wielką przyszłość.



Fot. 1. Mike Kirst [fot. Georgi Gotev]

Dwa znane portale: NucNet.org oraz euractiv.com opublikowały w dniu 18 marca materiały, których tytuły podano powyżej.

NucNet w swej krótkiej notatce cytuje wypowiedź Mike'a Kirsta, wiceprezesa **Westinghouse Electric Company (WEC)** – wielkiego amerykańskiego przedsiębiorstwa specjalizującego się w produkcji urządzeń wykorzystujących energię jądrową, ich bieżącej obsłudze, serwisie oraz kontroli, a także w projektowaniu

siłowni jądrowych. Mike Kirst, który odpowiada za strategię i relacje swojej firmy z Europą, Bliskim Wschodem i Afryką powiedział, że choć Polska nie ma obecnie żadnej elektrowni jądrowej, to w sytuacji kiedy 90 % energii elektrycznej czerpie z węgla, przy coraz bardziej rygorystycznych wymaganiach/ograniczeniach dotyczących emisji CO₂, zmuszona będzie do znalezienia sposobu na zapewnienie bezpieczeństwa energetycznego w przyszłości.

Według M. Kirsta Polska poważnie rozważa opcję jądrową. Przewiduje się budowę 11 reaktorów energetycznych do roku 2050. Jednak – powiedział M. Kirst – nawet jeśli plany te nie zostaną zrealizowane w pełnej skali i w proponowanym terminie, to i tak Polska będzie prawdopodobnie największym rynkiem „jądrowym”.

NucNet odsyła swoich Czytelników do pełnego zapisu rozmowy z M. Kirstem, którą przeprowadził wydawca portalu EURACTIV Georgi Gotev (adres: http://www.euractiv.com/sections/energy/westinghouse-nuclear-energy-has-great-future-poland-312988?_tmc=2idCPa4h54S9K96R458xidU6cNhEkDvYkyze-Tj-kc).

Dla naszych Czytelników interesujące mogą okazać się inne – nie tylko te dotyczące Polski – fragmenty tego obszernego wywiadu. W rozmowie poruszono sytuację energetyczną – w kontekście energetyki jądrowej – w Bułgarii, na Ukrainie, w Czechach, Wielkiej Brytanii.

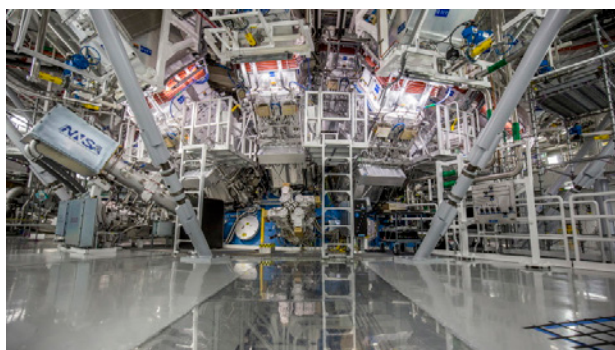
W konkluzji rozmowy M. Kirst stwierdza: „Jeśli mowa o nowych reaktorach to, poza UK i Francją, większość krajów zachodnioeuropejskich nie zajmuje się tym problemem. To jest powodem, że Westinghouse staje się prominentną firmą we Wschodniej Europie.

przygotował Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa



AMERYKAŃSCY NAUKOWCY OSIĄGAJĄ HISTORYCZNY ZAPŁON SYNTEZY JĄDROWEJ

Pierwszy w historii kontrolowany eksperyment syntezy jądrowej, mający na celu wytworzenie większej ilości energii z syntezy jądrowej niż energia lasera użyta do jej napędzania, został przeprowadzony w National Ignition Facility (NIF) w Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL) 5 grudnia – przełom, który trwa od dziesięcioleci tworzenie.



Fot.1. Komora docelowa w NIF (Zdjęcie: LLNL)

Fuzja jądrowa to proces, w którym dwa lekkie jądra łączą się, tworząc jedno cięższe jądro, uwalniając dużą ilość energii. LLNL zajmuje się wykorzystaniem laserów do indukowania syntezy jądrowej w warunkach laboratoryjnych od lat 60. XX wieku, budując w kalifornijskim laboratorium serię coraz potężniejszych systemów laserowych, co doprowadziło do powstania NIF, określanego jako największy i najbardziej energetyczny system laserowy na świecie. Placówka wykorzystuje potężne wiązki laserowe do wytwarzania temperatur i ciśnień podobnych do tych występujących w jądrach gwiazd i planet olbrzymów oraz wewnątrz wybuchów jądrowych.

Eksperyment z 5 grudnia wykorzystał 192 wiązki laserowe do dostarczenia ponad 2 milionów dżuli (MJ) energii ultrafioletowej do pastylki paliwa deuterowo-trytowego w celu wywołania tak zwanego zapłonu termojądrowego – określanego również jako naukowy próg rentowności energii. Osiągając moc wyjściową 3,15 MJ energii termojądrowej z dostarczenia 2,05 MJ do docelowego paliwa, eksperyment po raz pierwszy zademonstrował fundamentalne podstawy naukowe dla energii termojądrowej w uwięzieniu bezwładnościowym – lub IFE – po raz pierwszy.

Osiągnięcie to zostało ogłoszone wspólnie przez Departament Energii Stanów Zjednoczonych (DOE) oraz Narodową Administrację Bezpieczeństwa Jądrowego DOE (NNSA).

„To przełomowe osiągnięcie dla naukowców i pracowników National Ignition Facility, którzy poświęcili

swoją karierę, aby zobaczyć, jak zapłon termojądrowy stanie się rzeczywistością, a ten kamień milowy niewątpliwie zapoczątkuje jeszcze więcej odkryć” – powiedziała sekretarz energii USA Jennifer Granholm.

„To zmieniająca gry, ulepszająca świat, ratująca życie historia rozgrywająca się w czasie rzeczywistym. Absolutnie zdumiewająca” – napisała na Twitterze.

Przemawiając podczas transmisji na żywo, administrator NNSA, Jill Hruby, powiedziała, że eksperyment oznaczał „pierwsze niepewne kroki w kierunku źródła czystej energii, które mogłoby zrewolucjonizować świat”. Oprócz potencjalnego zastosowania w dostarczaniu dużej ilości czystej energii, przełom przyczyni się również do zwiększenia bezpieczeństwa jądrowego, ponieważ eksperymenty laboratoryjne oparte na syntezie jądrowej mogą pomóc amerykańskiemu programowi obronnemu w utrzymaniu zaufania do jego środka odstraszającego bez konieczności przeprowadzania testów, wzmacniając jego wiarygodność i postęp w cele związane z nieprolifacją.

„Dążenie do zapłonu syntezy jądrowej w laboratorium jest jednym z najważniejszych wyzwań naukowych, z jakimi kiedykolwiek spotkała się ludzkość, a osiągnięcie go jest triumfem nauki, inżynierii, a przede wszystkim ludzi” – powiedział Kim Budil, dyrektor LLNL. „Przekroczenie tego progu to wizja, która napędzała 60 lat pełnych poświęcenia dążeń – nieustanny proces uczenia się, budowania, poszerzania wiedzy i możliwości, a następnie znajdowania sposobów przewyższania nowych wyzwań, które się pojawiły. Są to problemy, nad którymi pracują krajowe laboratoria USA, które zostały stworzone, aby je rozwiązywać”.

Uwięzienie bezwładnościowe jest jednym z dwóch głównych eksperymentalnych podejść do syntezy jądrowej, które są obecnie badane. Fuzja w zamknięciu magnetycznym wykorzystuje silne pola magnetyczne do zatrzymania gorącej plazmy w osłonie, takiej jak tokamak. Na początku tego roku administracja USA ogłosiła „dekadną wizję” przyspieszenia energii termojądrowej w oparciu o systemy tokamaków, a DOE poinformowało, że obecnie wznowia szeroko zakrojony, skoordynowany program IFE w USA. „W połączeniu z inwestycjami sektora prywatnego istnieje duży rozmach, aby przyspieszyć szybki postęp w kierunku komercjalizacji syntezy jądrowej” – napisano.

Podstawowa technologia syntezy magnetycznej jest bardziej rozwinięta niż w przypadku IFE, powiedział Budil, ale osiągnięcie NIF można postrzegać jako „podstawowy element budulcowy” inercyjnego systemu zasilania syntezą jądrową. „Bardzo znaczące przeszkody” zarówno w nauce, jak i technologii pozostają do pokonania, ale „przy wspólnym wysiłku elektrownię można zbudować w ciągu kilku dziesięcioleci” – powiedziała.

Zebrane i napisane przez World Nuclear News

40-LECIE PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

Kilka tygodni temu dziennikarz jednej ze stacji telewizyjnych zaprosił mnie do studia, aby porozmawiać o energetyce jądrowej. Na moje pytanie, dlaczego to właśnie mnie wybrał do rozmowy odpowiedział: „bo Pan był rzecznikiem prasowym Państwowej Agencji Ato-

mistyki”. Uściślając tę informację dodam, że w latach 1990-2006 byłem dyrektorem Departamentu Szkolenia i Informacji Społecznej w Państwowej Agencji Atomistyki. Od roku 2006 do 2012 zajmowałem stanowisko radcy i rzecznika prasowego prof. Jerzego Niewodniczańskiego, Prezesa PAA. PAA była i jest instytucją ważną w moim życiu, dlatego z radością przyjąłem zaproszenie na jubileusz 40-lecia istnienia Agencji.

PREZES RADY MINISTRÓW

Warszawa, 17 października 2022 r.

Szanowni Państwo,

40-lecie Państwowej Agencji Atomistyki to nie tylko okrągła rocznica utworzenia urzędu, ale przede wszystkim jubileusz istnienia jednej z najważniejszych instytucji dbających o bezpieczeństwo Polaków. To cztery dekady wyteżonej i owocnej pracy, za którą pragnę serdecznie Państwu podziękować.

Ta praca jest służbą społeczną, niezwykle istotną dla każdego z nas. Mam na myśli przede wszystkim sytuację radiacyjną w kraju, której oceną zajmujecie się Państwo na co dzień. To pewien paradoks, że praca w tym ważnym obszarze otoczona jest swoistą ciszą społeczną. Ta cisza jednak jest niemal zawsze równoznaczna z wysokim poziomem poczucia bezpieczeństwa panującego wśród Polaków.

W ostatnim czasie nie brakowało wydarzeń, gdy zainteresowanie sytuacją radiacyjną w Polsce rosło. To efekt toczącej się za naszą wschodnią granicą wojny i obawy przed uszkodzeniem elektrowni jądrowych w Ukrainie. Skuteczne monitorowanie poziomu promieniowania jonizującego w naszym regionie, jak też profesjonalne komunikaty wydawane przez Państwową Agencję Atomistyki stanowiły i stanowią ważny element odpowiedzialnego zarządzania w każdej z sytuacji podwyższonego ryzyka, a zarazem cieszą się dużym uznaniem społecznym.

Szanowni Państwo,

wśród wyzwań stojących przed Polską znajduje się kwestia skutecznej transformacji energetycznej i budowa nowego systemu elektroenergetycznego. Urząd dozoru jądrowego ma w tym obszarze szereg zadań do wykonania. Zgodnie z prawem Państwowa Agencja Atomistyki będzie nadzorować budowę polskich elektrowni jądrowych na każdym etapie tego procesu.

U progu nowej dekady funkcjonowania Agencji pragnę wyrazić nadzieję, że będzie to dekada obfitująca w wydarzenia, które pchną polską energetykę naprzód i otworzą naszej Ojczyźnie dostęp do najnowszych technologii jądrowych. To nasza racja stanu i niezbędny warunek dalszego rozwoju. Życzę Państwu osobistego udziału w tym historycznym procesie. Jestem przekonany, że wiedza, pasja i zaangażowanie pracowników Agencji przyczynią się do tego, że będzie on realizowany w najlepszy możliwy sposób.

Zgromadzonym na dzisiejszej uroczystości składam jubileuszowe gratulacje, dołączając do nich serdeczne pozdrowienia dla Wszystkich Państwa.

Mateusz Morawiecki

Uczestnicy uroczystości jubileuszowej 40-lecia utworzenia Państwowej Agencji Atomistyki

Fot. 1. List Prezesa Rady Ministrów Mateusza Morawieckiego

Uroczystości jubileuszowe Państwowej Agencji Atomistyki odbyły się 17 października br. w Warszawie. W obchodach uczestniczyli przedstawiciele Rady Ministrów na czele z ministrem klimatu i środowiska Anną Moskwą oraz sekretarzem stanu, pełnomocnikiem Rządu ds. Strategicznej Infrastruktury Energetycznej Mateuszem Bergerem, przedstawiciele instytucji współpracujących z PAA, a także byli oraz obecni pracownicy Agencji.

Z okazji jubileuszu PAA Prezes Rady Ministrów Mateusz Morawiecki wystosował list, który odczytał minister Mateusz Berger (pełna treść powyżej).

Minister Anna Moskwa w swoim przemówieniu nawiązała do toczącej się w Ukrainie wojny oraz wielu zadań i wyzwań, jakie ta sytuacja stawia przed PAA: – *Dzisiaj bezpieczeństwo jądrowe wysuwa się na pierwszy plan. Kiedy codziennie napływają do nas informacje z frontu wojny w Ukrainie, którą Rosja zaatakowała 24 lutego 2022 r. Jak wiemy, wojska agresora okupują Zaporoską Elektrownię Jądrową, co jest wydarzeniem bez precedensu* – podkreślała minister Anna Moskwa. – *Eksperci PAA kontrolują sytuację radiacyjną w kraju – nieustannie sprawdzają, czy istnieje ryzyko wystąpienia zagrożenia w naszym kraju* – dodała minister.

Ustawa o utworzeniu PAA została uchwalona 27 lutego 1982 r. Weszła w życie 9 marca 1982 r., ale agresja wojsk Federacji Rosyjskiej w Ukrainie uniemożliwiła organizację jubileuszu na przełomie lutego i marca – przypomniał Prezes Państwowej Agencji Atomistyki dr Łukasz Młynarkiewicz. – *Zdecydowaliśmy wówczas o odłożeniu tej uroczystości* – mówił Prezes PAA. – *Od tamtego czasu podjęliśmy szereg ważnych inicjatyw, aby wzmocnić poczucie bezpieczeństwa Polaków, chociażby przez wzmocnienie monitoringu radiacyjnego kraju. Podejmowane były też działania w wymiarze międzynarodowym, gdzie minister klimatu i środowiska oraz służby MSZ z naszą pomocą doprowadziły do podjęcia dwóch, historycznych rezolucji na forum Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej. Rezolucji przeciwko Federacji Rosyjskiej oraz wzywających do zaprzestania okupowania terenu Zaporoskiej Elektrowni Jądrowej* – informował dr Łukasz Młynarkiewicz.

Szef PAA przypomniał również o coraz szerszym zastosowaniu promieniowania jonizującego m.in. w polskim przemyśle, placówkach medycznych, naukowych i badawczych. Obecnie już ponad 7500 działalności w kraju wykorzystuje to promieniowanie, a pracownicy PAA stale weryfikują, czy w tych działalnościach przestrzegane są wymogi bezpieczeństwa. Agencja nadzoruje również cztery, polskie obiekty jądrowe, na czele z reaktorem badawczym Maria. – *Mogę z dumą powiedzieć, że przez ostatnie 40 lat Agencja zdała swój egzamin, że w ciągu ostatnich 40 lat w kraju nie było poważnych awarii jądrowych.*

Warto również przytoczyć słowa Prezesa PAA o roli Agencji w budowie elektrowni jądrowych i o rozwoju PAA.

„Wraz z przyjęciem w Polsce programu jądrowego, **Rząd Rzeczypospolitej Polskiej zdecydował o budowie w kraju elektrowni jądrowych.** Poprzez działania regulacyjne oraz nadzorcze, Państwowa Agencja Atomistyki będzie uczestniczyć w realizacji tych inwestycji na każdym ich etapie. Począwszy od etapu oceny środowiskowej, lokalizacyjnej, poprzez etap budowy, rozruchu i eksploatacji.

Widzimy też inne wyzwania. Już dziś obserwujemy znaczne zainteresowanie sektora prywatnego nowymi technologiami jądrowymi. **Mówię tutaj o małych reaktorach modułowych, tzw. SMRach.** I w tym zakresie Państwowa Agencja Atomistyki podejmuje intensywne działania zmierzające do rozbudowy swoich kompetencji.

Rozwijamy się. Z uwagi na intensywne procesy związane z pozyskaniem nowych specjalistów i ich szkoleniem, **Agencja jest w okresie najbardziej dynamicznego rozwoju, jaki przypada w trakcie swojego istnienia.** W ciągu trzech lat Agencja zamierza zatrudnić ponad 60 pracowników. Blisko połowa z tej liczby została już zatrudniona”.

10 lat temu na uroczystości jubileuszu 30-lecia PAA głos zabrał ówczesny wiceprezes, Główny Inspektor Dozoru Jądrowego, Maciej Jurkowski. Wiceprezes wypowiedział wówczas ważne słowa o kulturze bezpieczeństwa oraz wpływie na nią, jaką mają poszczególni pracownicy. „Poszczególni pracownicy powinni znać i rozumieć nie tylko swoje zadania i obowiązki (istotne dla bezpieczeństwa), ale także obowiązki swoich bezpośrednich współpracowników i całego zespołu oraz jak one uzupełniają się z obowiązkami innych zespołów. Problemy bezpieczeństwa obiektów jądrowych i działalności ze źródłami promieniowania należy traktować z należytą troską i najważniejszym priorytetem” – powiedział wiceprezes.

Podczas uroczystości wręczone zostały odznaczenia państwowe:

- Medale Prezydenta RP za Długoletnią Służbę,
- Odznaki Honorowe za Zasługi dla Ochrony Środowiska i Klimatu,
- Odznaki Honorowe za Zasługi dla Energetyki.

Wybrane Zdjęcia odznaczonych (w treści oraz na okładce).

W uznaniu osiągnięć na rzecz bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz wkład w rozwój działalności Państwowej Agencji Atomistyki Prezes PAA przyznał odznakę okolicznościową – Odznakę Czwadziestolecia Utworzenia Państwowej Agencji Atomistyki.

Od początku swojego istnienia Państwowa Agencja Atomistyki aktywnie funkcjonuje na międzynarodowym forum, działającym na rzecz bezpieczeństwa

Jubileusz 40-lecia Państwowej Agencji Atomistyki – Warszawa, 17 października 2022



Odnaczone osoby, które przyczyniają się do zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej



Odnaczeni byli pracownicy PAA



Osoby reprezentujące odznaczone organy wykonujące nadzór i kontrolę w zakresie przestrzegania warunków bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej oraz organy i służby uczestniczące w systemie koordynacji bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej



Odnaczone osoby, które przyczyniają się do zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej, instytucje państwowe oraz organizacje pozarządowe działające w obszarze bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej



Uczestnicy spotkania



Widok na salę

Dr Łukasz Młynarkiewicz

Prezes Państwowej Agencji Atomistyki

Szanowny Panie Prezesie,

dziękuję za zaproszenie na dzisiejszą uroczystość, z którego niestety z powodu mojego aktualnego stanu zdrowia nie mogłem skorzystać. Ale pragnę dołączyć do wszystkich, świętujących 40 -lecie Agencji i do tych, którzy z okazji tej rocznicy dobrze życzą Panu i Agencji. Robię to nie tylko z powodu mojej sympatii do Agencji, którą kierowałem przez prawie 17 lat, a więc znaczną część okresu jej istnienia, a był to niewątpliwie najciekawszy czas w moim życiu. Ale przede wszystkim dlatego, że wiem, jak wielkie znaczenie ma Agencja w ochronie nas wszystkich przed groźną dla naszego życia i zdrowia nadmierną ekspozycją na promieniowanie jonizujące. Promieniowania stosowanego coraz powszechniej w diagnostyce i terapii medycznej, w badaniach naukowych i w przemyśle, a w przypadku energetyki jądrowej – powodującego obawy społeczeństwa odnośnie tej technologii. A Agencja jest tą instytucją, która mówi nam, jakie stosować standardy i procedury, żeby wykorzystanie materiałów jądrowych oraz izotopowych czy akceleratorowych źródeł promieniowania nie stwarzało zagrożenia dla osób stosujących te technologie, dla ogółu ludności teraz i w następnych pokoleniach. Agencja również kontroluje sposób przestrzegania tych zasad i procedur oraz nadzoruje monitoring poziomu promieniowania w środowisku. Samo istnienie Agencji i kompetencje jej pracowników gwarantują bezpieczne funkcjonowanie naszych przyszłych elektrowni jądrowych i właściwe reagowanie w przypadku zaistnienia sytuacji awaryjnych.

Dziękuję Panu, Panie Prezesie i wszystkim pracownikom za utrzymanie wysokiej rangi i wiarygodności Agencji. Życzę Państwu (i sobie), żeby Państwowa Agencja Atomistyki nadal ogrywała znaczącą rolę w europejskim i światowym systemie bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej.

Z poważaniem

Jerzy Niewodniczański

17 października 2022 r.

Fot. 2. List gratulacyjny prof. Jerzego Niewodniczańskiego

jądrowego i ochrony radiologicznej. Obecnie kierownictwo oraz pracownicy PAA uczestniczą w sumie w ponad 50 grupach i komitetach funkcjonujących w ramach różnorodnych organizacji, łącznie z Międzynarodową Agencją Energii Atomowej.

PAA współpracuje również z wieloma zagranicznymi dozorami jądrowymi. Z okazji jubileuszu kilku bliskich partnerów przekazało PAA okolicznościowe pozdrowienia.

Wśród osób składających Agencji gratulacje i życzenia znajdował były długoletni Prezes PAA i mój – wielce przeze mnie ceniony szef – prof. Jerzy Niewodniczański.

*Na podstawie materiałów PAA
przygotował Stanisław Latek,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej,
Warszawa*

55. LAT MUZEUM MARIII SKŁODOWSKIEJ-CURIE W WARSZAWIE

Minęło 155 lat od urodzin dwukrotnej laureatki Nagrody Nobla i odkrywczynie dwóch pierwiastków: polonu i radu – Marii Skłodowskiej-Curie. Uczona dała początek chemii pierwiastków promieniotwórczych – radiochemii. W jej pionierskich pracach mają swoje źródło fizyka i chemia jądrowa, a badania i odkrycia stanowią podstawy współczesnej onkologii. Życiorys i wybitne dokonania uczoney prezentuje od 55. lat Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie, otwarte w setną rocznicę urodzin, w domu jej urodzenia, przy ul. Freta 16.

Organizację muzeum wielkiej Polki planowano jeszcze przed II wojną światową. Pamiątki zgromadzone przez siostry uczoney, Bronisławę Dłuską i Helenę Skłodowską-Szalay, miały znaleźć swoje miejsce w Instytucie Radowym, otwartym w Warszawie w 1932 r. Plany pokrzyżowała wojna. I choć Helena Szalayowa dołożyła wszelkich starań, aby zbiory ocalić, większość zaginęła w czasie powstania warszawskiego w skutek zniszczenia przez Niemców Instytutu Radowego. Po wojnie na miejscu znaleziono jedynie biurko i kilka drobiazgów.

Treść części zaginionej korespondencji i wierszy przetrwała dzięki napisanej przez córkę noblistki, Ewę Curie, biografii „Maria Curie” (1 wyd. pol. 1938). W 1921 r. dzięki staraniom muzeum, wydawnictwo W.A.B. opublikowało, uzupełnione o nieznane dotąd fragmenty listów, pierwsze kompletne wydanie tej biografii w języku polskim.

Do idei upamiętnienia uczoney wrócono w latach 50. XX wieku. W 1951 r. Irena Joliot-Curie, starsza córka małżeństwa Curie, także laureatka Nagrody Nobla, przekazała Muzeum Narodowemu w Warszawie dar z prośbą o udostępnienie cennych pamiątek. Były to m.in.: przyrządy z laboratorium Marii i Piotra Curie, korespondencja noblistki z przedstawicielami nauki polskiej, dokumenty, fotografie, dzieła naukowe i przedmioty osobiste. Zbiory wyeksponowano w Domu Pracownika Nauki im. Marii Skłodowskiej-Curie, mieszczącym się w odbudowanej kamienicy przy Freta 16. Wystawę otwarto w październiku 1954 r., roku 20. rocznicy śmierci Marii Skłodowskiej-Curie. Dwa lata później przeniesiono ją do Muzeum Techniki, gdzie zdeponowano zbiory.

Muzeum powstało dzięki staraniom Polskiego Towarzystwa Chemicznego, którego Maria Skłodowska-Curie została członkinią jeszcze w 1924 r. Szczególne zasługi położyli prof. Józef Hurwic, ówczesny Prezes PTChem, oraz prof. Alicja Dorabalska, fizykochemicz-



Fot. 1. Otwarcie Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie, Warszawa 1967. Od prawej: Ewa Curie, [Maria Wróblewska], prof. Józef Hurwic. Ze zbiorów Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie w Warszawie



Fot. 2. Wystawa pt.: „Radium Queen. Pierwsza amerykańska podróż Madame Curie, 1921”, (fot. MMSC)

ka, dawna stypendystka w laboratorium Madame Curie w Instytucie Radowym w Paryżu. Muzeum otwarto w 100. rocznicę urodzin noblistki, 16 października 1967 r., w kamienicy przy Freta 16 w Warszawie. W uroczystości uczestniczyła m.in.: młodsza córka – Ewa Curie z mężem.

Od 1 sierpnia 2018 r., na mocy uchwały Rady Miasta Stołecznego Warszawy organizatorem muzeum jest Miasto Stołeczne Warszawa we współpracy z Polskim Towarzystwem Chemicznym. Obok popularyzacji



Fot. 3. Wystawa pt.: „Instytut na miarę marzeń” (fot. MMSC)

biografii wielkiej Polki muzeum wypełnia także misję kulturalną i edukacyjną. Prezentacji wystawy stałej towarzyszy szereg wydarzeń z udziałem rodziny uczzonej; muzeum współpracuje z instytucjami (np.: Muzeum Curie w Paryżu, placówki dyplomatyczne) oraz organizacjami w Polsce i za granicą; ma bogatą ofertę edukacyjną, zarówno online jak i w siedzibie; prowadzi działalność wydawniczą, a dzięki publikacjom w mediach społecznościowych i stronie internetowej www.mmsc.waw.pl dociera do szerszego grona odbiorców.

Rok 155. urodzin Marii Skłodowskiej-Curie w muzeum został uczczony trzema wystawami czasowymi. „Radium Queen. Pierwsza amerykańska podróż Madame Curie, 1921”. To ekspozycja dokumentująca przełomowy okres w dziejach bohaterki. Noblistka pojechała do Ameryki, aby przyjąć dar w postaci grama radu. Uczona powróciła nie tylko z cennym pierwiastkiem, ale dowiedziała się jak wielkie znaczenie ma komunikacja społeczna. Pierwsza podróż zaowocowała następną podróżą i kolejnym darem, tym razem na rzecz instytucji w rodzinnym mieście noblistki.

Instytut Radowy w Warszawie otwarto 29 maja 1932 r. Było to możliwe m.in. dzięki społecznej kampanii w ramach Daru Narodowego dla Marii Skłodowskiej-Curie. Pieniądze na zakup grama radu pochodziły z funduszu zebranego wśród kobiet amerykańskich. Wystawa pt.: „Instytut na miarę marzeń.” ukazuje dokumenty, fotografie, wycinki prasowe poświęcone budowie i otwarciu Instytut Radowego w Warszawie. Część tych dokumentów trafiła do muzealnej kolekcji w ostatnich latach.

Trzecia wystawa pt.: „Beyond Curie” to międzynarodowy projekt ukazujący uczone, które podobnie jak Maria Skłodowska-Curie przecierały naukowe szlaki.

Milka Skalska,
Muzeum Marii Skłodowskiej-Curie,
Warszawa



Fot. 4. Plakat wystawy pt.: „Instytut na miarę marzeń” (fot. MMSC)

POLSKIE KONSORCJUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

W Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie w dniu 8 grudnia 2022 r., nastąpiło uroczyste podpisanie umowy o utworzeniu Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej. Konsorcjum tworzą polskie jednostki naukowe i badawcze: Instytut Fizyki Jądrowej z siedzibą w Krakowie, Instytut Chemii i Techniki Jądrowej z siedzibą w Warszawie, Narodowe Centrum Badań Jądrowych z siedzibą w Otwocku, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej z siedzibą w Warszawie, Główny Instytut Górnictwa z siedzibą w Katowicach oraz Instytut Medycyny Pracy imienia prof. dra Jerzego Nofera z siedzibą w Łodzi.

Nadrzędnymi celami działalności Konsorcjum jest współdziałanie i koordynacja badań w dziedzinie ochrony radiologicznej, w szczególności w zakresie projektów naukowych i infrastrukturalnych, krajowych i międzynarodowych, kształcenie kadry, wspieranie organizacji rządowych i pozarządowych oraz inicjatyw społecznych, a także promujących wiedzę na ten temat.

Uroczystość podpisania umowy uświetnili swoją obecnością, Adam Guibourgé-Czetwertyński – Wice-minister Klimatu i Środowiska oraz dr Łukasz Młynarkiewicz – Prezes Państwowej Agencji Atomistyki.

Więcej na ten temat w następnym numerze PTJ.

*Krzysztof Madaj,
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa*



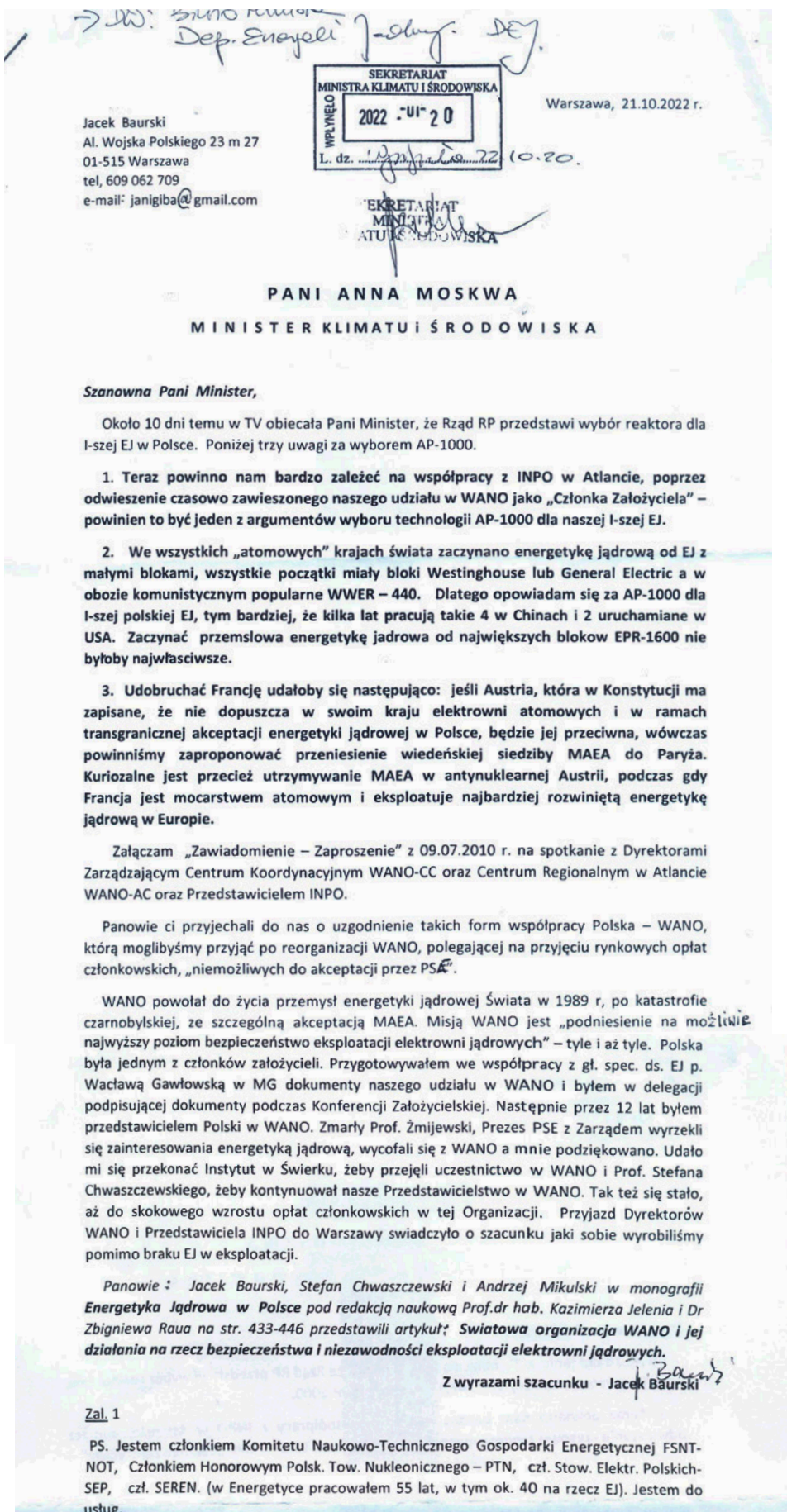
Fot. 1. Dyrektorzy polskich jednostek naukowych i badawczych podpisują umowę o utworzeniu Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej w obecności Adama Guibourgé-Czetwertyńskiego - Wiceministra Klimatu i Środowiska oraz dr. Łukasza Młynarkiewicza – Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki (fot. K. Madaj)

Szanowni Państwo,

przysłałem Państwu list przed ważnym wyjazdem do Ameryki p. Sasina i p. Moskwy, gdy mieli dokonać wyboru typu reaktora dla naszej EJ. W ten sposób przedstawiłem stanowisko naszego Środowiska i przypomniałem zawieszenie udziału w WANO, którego Polska była członkiem założycielem. INPO – Institute

Nuclear Power Operation w Atlancie – prowadził z nami bardzo wartościową współpracę. Napisałem o tym w "Energetyce Jądrowej dla Polski" w 2012 r. pod redakcją prof. Kazimierza Jelenia.

Jacek Burski





JAK POWSTAJE NOWOCZESNA TEORIA NAUKOWA? HOW IS MODERN SCIENTIFIC THEORY FORMED?

Przedstawiając od dawna w Postęпах Techniki Jądrowej książki popularnonaukowe, omawiające różne zagadnienia dotyczące technik jądrowych lub życiorysy twórców atomistyki po raz pierwszy natrafiłem na książkę napisaną przez kogoś bezpośrednio zaangażowanego w tworzenie nowej teorii. Jako współtwórca autor musiał bardzo głęboko wniknąć w niuanse teorii, starając się następnie przedstawić je w sposób zrozumiały dla poszukujących Piękna Wszechświata. Wydaje mi się, że książka Briana Greene powinna być zalecana w liceach, jako lektura uzupełniająca. Dlatego przedstawiam książkę w nieco rozszerzonej formie.

Książka *PIĘKNO WSZECHŚWIATA Super struny, ukryte wymiary i poszukiwanie teorii ostatecznej* jest publikacją popularnonaukową omawiającą, w sposób bardzo przystępny niezwykle trudne problemy związane z nowo tworzonymi teoriami budowy materii i „funkcjonowania” Wszechświata. Autor książki Brian Greene urodził się w Nowym Jorku w 1963 r. Studiował na uniwersytecie w Harvard, doktorat uzyskał w 1980 r. na Uniwersytecie Oxfordzkim. Jest fizykiem teoretykiem i matematykiem czynnie uczestniczącym w budowaniu teorii strun i jej propagowaniu. Na Uniwersytecie Columbia jest współdyrektorem instytutu Strun i Kosmologii.

Poszukiwania zunifikowanej teorii, która opisywałaby siły natury w obejmującym wszystko spójnym systemie, zapoczątkował Albert Einstein w czasach gdy nie znano jeszcze zasadniczych właściwości materii i sił natury lub nie do końca je rozumiano. Kolejne pokolenia fizyków prowadząc rozległe poszukiwania coraz lepiej poznawały i rozumiały funkcjonowanie Wszechświata, nabierając pewności, że odkryli wspólne elementy pozwalające na zbudowanie podstaw zunifikowanej teorii nazwanej teorią super strun. Książka Briana Greene wprowadza czytelnika w ten nowy świat fizyki, stopniowo pobudzając ciekawość jak w powieści sensacyjnej, przybliżając i wyjaśniając coraz bardziej skomplikowane pojęcia współczesnej fizyki opisujące podstawowe prawa rządzące Wszechświatem. Teorie współczesnej fizyki pozwoliły z jednej strony wykryć i wyjaśnić zjawiska w ogromnej skali np. rozszerzanie się Wszechświata korzystając z ogólnej teorii względności, a z drugiej strony zgłębić strukturę materii korzystając z mechaniki kwantowej opisującej świat subatomowy. Mimo że, przewidywania obu podstawowych teorii zostały potwierdzone doświadczalnie z ogromną precyzją wska-



Fot. 1. *Piękno Wszechświata: Super struny, ukryte wymiary i poszukiwanie teorii ostatecznej* (Wydawnictwo: Prószyński i S-ka Warszawa 2001, Wydawnictwo: Zysk I S-KA Poznań 2018)

Photo 1. *The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions and Quest for the Ultimate Theory* (Wydawnictwo: Prószyński i S-ka Warszawa 2001, Wydawnictwo: Zysk I S-KA Poznań 2018)

zując na ich prawdziwość, to próby stworzenia wspólnej ogólnej teorii opisującej funkcjonowanie całego Wszechświata od chwil Wielkiego Wybuchu nie dawały zadowalających rezultatów. W latach siedemdziesiątych XX wieku pojawiły się pierwsze opracowania nowej teorii – teorii strun, która obecnie daje nadzieję na ściśle powiązanie obu teorii. Twórcy teorii strun są przekonani, że możliwe jest wykrycie jednej zasady – jednego równania opisującego funkcjonowanie całego Wszechświata w pełnym zakresie. Przypominając budowę materii zbudowaną zgodnie z filozofią grecką Demokryta z małych niepodzielnych cząstek-atomów, autor przesuwa granicę niepodzielności na elektrony, protony, neutrony, kwarki kończąc ten szereg na strunach. Nie wiadomo, co tworzy strunę. Zakłada się, że jest to podstawowy element materii. Struny nie są drgającymi punktami, ale są pętlami, których wzór drgania przejawia się, jako cząstka, o określonej masie i ładunku. W rozważaniach wykorzystywane są czasami struny otwarte o dwóch swobodnych końcach. Każdej cząstce odpowiada inny wzór drgań.

Przed przystąpieniem do omawiania właściwości teorii strun, autor przedstawia bardzo przystępnie ogólną teorię względności zwracając szczególną uwagę na nowe ujęcie grawitacji i rolę czasu oraz podstawy mechaniki kwantowej z pokreśleniem zasady nieoznaczoności Heisenberga i wpływających z niej wniosków. Teoria względności i mechanika kwantowa są wykorzystywane do zgłębiania odmiennych procesów, ale w szczególnych przypadkach np. przy badaniu obszarów wewnątrz czarnej dziury lub chwili Wielkiego Wybuchu potrzebne, są obie teorie, co wymaga nowego podejścia. W wyniku wielu prac powstała relatywistyczna kwantowa teoria pola, nazywana potocznie kwantową teorią pola, wykorzystująca kwestie prawdopodobieństwa i nieoznaczoności wiążąca pole elektromagnetyczne Maxwella i szczególną teorię

względności. Problemem pozostaje połączenie ogólnej teorii względności z mechaniką kwantową szczególnie w obszarach przekraczających długość Plancka 10^{-33} cm, w których fluktuacje pola grawitacyjnego opisywane zasadą nieoznaczoności tworzą tzw. pianę kwantową. Piana kwantowa to spieniona, poskręcana postać struktury czasoprzestrzeni. Teoria superstrun umożliwia rozwiązanie problemu.

Krótką, ale burzliwą historię tworzenia teorii strun rozpoczęła się w roku 1968 od prac Gabriele Veneziano, Leonarda Susskinda i Yoichiro Nambu. Początkowo była to teoria oddziaływań jądrowych oparta na tzw. funkcji beta Eulera przy założeniu, że cząstki elementarne występujące w obliczeniach przedstawia się jako jednowymiarowe wibrujące struny. Jednakże przeprowadzone doświadczenia nie potwierdziły uzyskanych wyników. Dalsze poszukiwania doprowadziły do wykrycia, że nowa teoria opisuje działanie sił grawitacyjnych. Ostatecznie w 1984 r. wykazano, że teoria obejmuje wszystkie oddziaływania (silne, elektromagnetyczne, słabe, grawitacyjne). Kolejnym problemem była i jest trudność sformułowania precyzyjnych równań. Możliwe jest tylko utworzenie przybliżonej ich wersji i siłą rzeczy uzyskanie przybliżonego rozwiązania. Zahamowało to badania. Przełomowym momentem była konferencja poświęcona teorii strun zorganizowana przez Uniwersytet Południowej Kalifornii, na której Edward Witten przedstawił projekt dalszych poszukiwań, rozpoczynając nowy rewolucyjny etap badań.

W trakcie opracowywania teorii strun stwierdzono, że do pełnego jej opisu potrzebna jest większa ilość wymiarów przestrzennych. Idea większej ilości wymiarów przestrzennych wydaje się nie do zaakceptowania, jednakże pomysł taki został przedstawiony w 1919 r. przez matematyka i fizyka polskiego pochodzenia Theodora Franza Eduarda Kaluzę (ur. 9 listopada 1885 r. w Opolu), pracującego na Uniwersytecie w Królewcu nad unifikacją ogólnej teorii względności z elektromagnetyzmem. Kaluza przesłał swoją pracę Albertowi Einsteinowi, który mimo początkowego zainteresowania dopiero po dwóch latach zaakceptował ten sposób unifikacji. Poprawioną wersję obliczeń Kaluzy przedstawił w 1926 r. szwedzki matematyk Oskar Klein dowodząc, że Wszechświat oprócz wymiarów rozciągniętych ma wymiary zwinięte, niedostrzegalne w życiu codziennym. W mechanice kwantowej możliwość przewidywania wyniku ogranicza się do stwierdzenia, że dany wynik będzie uzyskany z określonym prawdopodobieństwem. Okazało się, że przy próbach połączenia mechaniki kwantowej z teorią względności otrzymywano wyniki niemieszczące się w granicach 0-1 osiągając wartość nieskończoną. Tą sprzeczność usunęła teoria strun, ale pojawiło się prawdopodobieństwo ujemne. Badacze doszli do wniosku, że jest to wynikiem ograniczenia przestrzeni drgania strun. Wprowadzenie zgodnie z sugestią Kaluzy – Kleina wielu wymiarów pozwoliło na usunięcie tej niezgodno-

ści. Obecnie uważa się, że we Wszechświecie istnieje 9 wymiarów przestrzennych (3 rozwinięte) i jeden wymiar czasowy. Dodatkowo dzięki wprowadzeniu supersymetrii stworzono teorie superstrun – opisujące wszystkie znane cząstki. Super symetria łączy właściwości cząstek o spinie całkowitym (bozonów) z właściwościami cząstek o spinie połówkowym (fermionów).

Brian Greene zajmował się przestrzeniami Calabiego-Yau. Przestrzeń (kształt) Calabiego-Yau to przestrzeń, w którą zwijają się dodatkowe wymiary przestrzenne przewidywane przez teorie strun. Badane są różne warianty przekształceń np. przejścia stożkowe polegające na przekształceniu części przestrzeni, w którym jej struktura rozrywa się, a następnie naprawia. Jest to jedno z narzędzi do wykrywania właściwości teorii strun.

W teorii strun, przy badaniu procesów niskoenergetycznych, nie mających dostatecznie dużo energii, aby uwidocznić mikroskopową, rozciągniętą naturę struny, można ją traktować, jako cząstkę punktową upraszczając obliczenia. Pozwala to na traktowanie kwantowej teorii pola, jako teorii supergrawitacji. Dokładniejsze rozważania doprowadziły do powstania czterech odmiennych dziesięciowymiarowych teorii supergrawitacji, z których trzy okazały się niskoenergetycznymi opartymi na cząstkach punktowych będącymi przybliżeniami teorii strun IIA, IIB i heterotycznej – E. Czwarta jest przybliżeniem teorii typu I i heterotycznej – O. W 1995 r. Edward Witten zaproponował M teorię wprowadzającą do systemu teorii jedenastowymiarową supergrawitację wiążąc wszystkie opracowane teorie, co nazwano drugą rewolucją strunową. W tym systemie teorie wydają się zupełnie różne, ale w rzeczywistości prowadzą do tych samych wyników. Dzięki dualności związanej z geometryczną postacią czasoprzestrzeni pięć teorii strun i M teorii utworzono sieć dualności. Witten zasugerował, że M może odnosić się do słów „magic” („magia”), „mystery” („tajemnica”) lub „membrane” („membrana”), wedle upodobania, a właściwe znaczenie nazwy zostanie rozstrzygnięte po dokładniejszym jej sformułowaniu.

Znaczna część książki poświęcona jest powiązaniu teorii strun z problemami rozważanymi w kosmologii. Mimo że, badania te są na bardzo wstępnym etapie osiągnięto już pewne pozytywne rezultaty przy analizie teorii czarnych dziur.

Teoria strun od początku powstawania wzbudzała wśród uczonych wiele emocji i skrajnych opinii jednak ostatecznie budzi nadzieję, że starania jej utworzenia zakończą się sukcesem. Jedynym nierozwiązywalnym na razie problemem jest trudność potwierdzenia jej też doświadczalnie. Jej powstawanie wywołało również szereg ważnych dyskusji w innych dziedzinach nauki. Obecnie jest jedyną potencjalną teorią wszystkiego (TW). Znalazła nawet zastosowanie w kosmologii.

Książka Briana Greene interesująco przedstawia etapy tworzenia teorii naukowej i daje szeroki obraz po-

szukiwać sposobów rozwiązywania pojawiających się problemów. Tworzenie nowej kwantowomechanicznej teorii wszystkiego (TW) obejmującej wszystkie siły i całą materię, której celem jest praca zespołowa wielu wybitnych fizyków teoretyków i matematyków rozproszonych w różnych ośrodkach naukowych. Teoria super strun powstała na przełomie XX i XXI wydaje się być ważnym, obiecującym etapem jej tworzenia. Książka jest napisana z pasją człowieka bezpośrednio zaangażowanego w tworzenie teorii, starającego się przekazać jak najwięcej informacji w sposób jak najbardziej obrazowy, by

omawiane pojęcia były zrozumiałe intuicyjnie. Dla bardziej zaawansowanych czytelników są na końcu każdego rozdziału podane ściślejsze opisy matematyczne.

W książce podano bogatą bibliografię i słownik terminów naukowych przypisy wyjaśniające do każdego i rozdziału, alfabetyczny skorowidz rzeczowy.

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

Literatura:

- [1] Brian Greene, *PIĘKNO WSZECHŚWIATA Super struny, ukryte wymiary i poszukiwanie teorii ostatecznej* (Wydawnictwo: Prószyński i S – ka Warszawa 2001, Wydawnictwo: Zysk I S-KA Poznań 2018)
- [2] Shing-Tung Yau, Steve Nadis, *GEOMETRIA TEORII STRUN Ukryte wymiary przestrzeni*. Wydawnictwo: Prószyński i S – ka Warszawa 2012
- [3] Steven S. Gubser, *TEORIA STRUN BEZTAJEMNIC*. Wydawnictwo: Prószyński i S – ka Warszawa 2011
- [4] Michał Heller, *Kosmologia kwantowa*, Wydawnictwo: Prószyński i S – ka Warszawa 2001

CZY MOŻNA WIERZYĆ SPECJALISTOM?

Na początku pandemii napisałem tekst o antyszczepionkowcach i płaskoziemcach. Komentatorzy „zagotowali się”.

Antyszczepionkowcy protestowali, by nie łączyć ich z tymi oszołomami, płaskoziemcami. Płaskoziemcy pisali, że oni przecież nie są przeciw szczepionkom. Do tego odezwały się osoby, które protestują przeciw sieci komórkowej 5G, ale z poprzednio wspomnianymi też nie mają nic wspólnego. Podobnie z ludźmi, którzy są przeciw energii jądrowej. Ci stanowczo żądają, by ich traktować poważnie, a nie łączyć z poprzednimi grupami.

Katastrofa.

Nikt z tych grup nie wierzy naukowcom, którzy jakoby są w zмовie. Zresztą, nie wiadomo z kim. Tylko „niezależni” mają rację.

Co się dzieje? Dlaczego nie mamy zaufania do specjalistów? Dlaczego słuchamy kłamstw?

Pomijam liczne powody polityczne. Nie tylko w Polsce. Politycy na całym świecie zaczęli schlebiać tym, którzy mają bardzo małą wiedzę, nie czytają książek i źle wspominają naukę szkolną. W czasie wyborów głos mędrca i analfabety liczy się tak samo. Łatwiej zatem trafić do tego o małej wiedzy.

Niestety, uczeni też nie są bez winy. Wielu profesorów po prostu zaniedbało dobrą komunikację ze społeczeństwem.

Pamiętam swoją rozmowę z wybitnym polskim fizykiem atomistą. Kiedy próbowałem przekonać uczonego, że należy mówić tak, by treść mogła zrozumieć szatniarka czy portier, spotkałem się z oburzeniem.

„My możemy mówić tylko do elit”.

Tak się złożyło, że właśnie przechodził profesor historii.

„Proszę wyjaśnić Panu Profesorowi, jak zbudowane jest jądro atomu”.

Przemilczę to, jak zostałem potraktowany. A przecież profesor historii bez wątplenia jest elitą.

Na domiar złego wpadliśmy w pułapkę PowerPointa. Pozorna łatwość przygotowania prezentacji, możliwość „recyklingu” starych wykładów do nowej wersji spowodowała odcięcie się od odbiorców. Zasłoniłymi się slajdami.

Czy Napoleon potrzebował slajdów, by porwać gwardię do walki? A może Sobieski postawił przed husarią ekran z napisem „Hurra! Naprzód!”? Dlaczego generał Eisenhower nie wyświetlił flocie inwazyjnej hasła zagrzewających do boju? Bo byli wodzami i mieli charizmę.

Uczestnicy rozmaitych konferencji często obserwują „dukane przy ekranie”. To stękanie i nudzenie „ozdobione” obrazami wyświetlanymi przez projektor.

Stosowane powszechnie oprogramowanie do tworzenia prezentacji spowodowało, że „przylepiliśmy się” do ekranu. Rządzi nami komputer. A gdzie się podział wykładowca? Przecież najważniejszy jest człowiek!. Ważne jest jego zachowanie, gesty, postawa, mimika, a nie tylko obrazy wyświetlane na ekranie.

Wykład, wystąpienie lub prezentacja to spotkanie nie ze slajdami, a z żywym człowiekiem! Nie bójmy się zatem pokazać siebie! Słuchacze przyszli dla nas! Mówca może się nawet mylić, zapomnieć o czymś, zakląć lub zaplątać w swoich wywodach, ale jest prawdziwy.

Najważniejsze przykazanie wystąpień publicznych brzmi „Nie nudź!”. Reszta jest tylko dodatkiem.

Oczywiście, spotkanie z najbardziej sprawnym i charyzmatycznym mówcą nie wyklucza używania grafiki prezentacyjnej. Ale musimy mieć COŚ do pokazania. Teksty, które ułatwią robienie notatek, ilustracje, które pokazują aparaturę lub wyniki badań, a także wykresy, nagrania dźwiękowe lub wideo mogą pomóc odbiorcom. Slajdy są tylko pretekstem do komentarza, który prelegent tworzy na żywo.

W przygotowanie prezentacji warto włożyć nieco wysiłku. Pamiętajmy o fotografiach, wykresach lub rysunkach. Niestety, zabierze nam to trochę czasu.

Wyświetlane ekrany nie mogą być przeładowane treścią. W miarę możliwości warto zastosować czcionkę 24 punktową (lub większą) i umieszczać na jednym slajdzie nie więcej niż 8 wierszy tekstu. To tylko hasła, które ustnie rozwinie podczas publicznego występu.

Byłem już na wielu konferencjach. Specjalista z zagranicznego koncernu na wykładzie na Politechnice Warszawskiej na slajdach miał tekst napisany w trzech kolumnach. Do tego ozdobniki, logotypy, wykresy i schematy. Czy ktoś był w stanie to odcyfrować?

Nawet najlepiej przygotowane wystąpienie w postaci zestawu tzw. slajdów to nie koniec pracy. W jednym z wywiadów słynny szef Apple'a, Steve Jobs powiedział, że 30 minutową prezentację ze slajdami i pokazami sprzętu przygotowuje mu sztab specjalistów. On, guru i mistrz potrzebował jeszcze 10 godzin, by przećwiczyć wystąpienie.

Jak widać, sama grafika na ekranie to tylko początek. Sukces zależy od żywego człowieka! Człowieka, który twórczo rozwinie treści prezentowane na slajdach. Za każdym razem inaczej!

Oczywiście, błędy prezentacji, hermetyczny język i wiele innych problemów to tylko drobny ułamek przyczyn braku zaufania do uczonych. O ile jednak polityki schlebienia słabo wykształconym wyborcom nie zmienimy, o tyle możemy zmienić swoją komunikację z odbiorcami.

Prosty język, ciekawe, zrozumiałe przykłady, fascynujące opowieści z historii nauki mają szansę porwać odbiorców. A odbiorca, który zakocha się w fizyce, odbiorca, który zajrzał do podręcznika, będzie mniej skłonny wierzyć antyszczepionkowcom, anty 5G, płaszkowcom i zwolennikom spisków.

W 2022 r. Nagrodę Popularyzator Roku otrzymał znakomity popularyzator, komentator w czasie epidemii Covid-19, dr Paweł Grzesiowski. Kiedyś zauważyłem komentarz telewizora „Słuchamy dr. Grzesiowskiego ponieważ go rozumiemy”.

Wiktor Niedzicki,

Dziennikarz telewizyjny i radiowy, fizyk i muzyk.

Autor ponad 900 popularnych programów telewizyjnych o nauce i osiągnięciach techniki. Były starszy wykładowca na Politechnice Warszawskiej oraz na innych uczelniach wyższych. Były pracownik Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie.

I TY MOŻESZ ZOSTAĆ ...?

Właśnie! Kim? Czy pamiętacie Państwo lekturę książki dla młodzieży: „I Ty możesz zostać Indianinem”, albo późniejszą z czasów już III RP „I Ty możesz zostać biznesmenem”? Droga do zostania nimi nie tylko pozostaje nadal otwarta, ale jest poszerzona o atrakcyjne nowe możliwości. Ale po kolei!

Doprawdy już od dawien dawna, nie było takiej informacji w mediach. Wiadomość numer 1 nie schodzi z czołówek gazet, portali i Twittera, a także powtarzana jest wielokrotnie w dziennikach radiowych i telewizyjnych. Od niepamiętnych czasów w mediach polskich – nie tylko głównego nurtu – nie było takiej informacji, która, po pierwsze, spotkałaby się aż z tak dużym – aby nie powiedzieć ogromnym – zainteresowaniem. A po drugie, była kwitowana tyloma pozytywnymi reakcjami. Nagle zgodność zapanowała powszechna. Nawet zacząłem się zastanawiać, czy przypadkiem nie nastąpił jakiś społeczny przełom świadomościowy i zaczęliśmy zamiast szczepionki na Covid-19 pobierać leki wspomagające stopień obiektywizacji w procesach myślenia u człekokształtnych.

Ta idąca pod prąd naszych dotychczasowych wielowiekowych tradycji mentalnościowych nieoczekiwana polska zgodność zaskakuje i zarazem dziwi niepomnie. I dodatkowo, że dotyczy konkretnej kwestii, do tej pory stanowiącej bardzo skuteczny środek na społeczne podziały i wymuszała konieczność opowiedzenia się kto za, a kto przeciw, zazwyczaj przy braku wstrzymujących się od głosu. Idzie bowiem oczywiście o atom. A precyzyjnie i zarazem poprawnie powiedzieć trzeba, że mamy na myśli energetykę jądrową. Wreszcie tę polską w Polsce, a nie tę za miedzą u sąsiadów. Inwestycje dotyczące budowy elektrowni jądrowych w naszym kraju mają ostro ruszyć z miejsca. Tym bardziej, że i miejsce jest już zlokalizowane!

Ważni – pardon, bardzo ważni – krajowi politycy przelecieli nad Atlantykiem, porozmawiali z bardzo wysoko postawionymi w hierarchii politycznej USA z tamtejszymi urzędnikami, przyrzekli sobie i nam, a nawet z pełną odpowiedzialnością podpisali się własnoręcznie pod owymi epokowymi decyzjami i w ten sposób energetyka jądrowa w Polsce z czysto teoretycznej, acz zawsze szlachetnie deklarowanej, ma się zamienić w ... realną!

Świat byłby jednak za piękny, aby tylko i wyłącznie wola polityczna gwarantowała szybkie rozpoczęcie i niemniej szybkie zakończenie inwestycji, którą z racji swojego rozmiaru i ciężaru technicznego, ale i przede wszystkim super ciężkiej wagi finansowego zaangażowania, mogła tylko nawet na jeden milimetr sześcienne zmaterializować się samą – nawet ponad ludzko silną – wolą naszych zdeterminowanych polityków.

Czy doczekaliśmy wreszcie takiego momentu w naszej historii, że sprawy energetyki jądrowej przestaną

być mitologizowane i demonizowane zarazem, a spojrzeć się na nie w sposób w najwyższym stopniu obiektywny i wolny od wszelkich emocji? A tego to już zupełnie nie jestem pewien!

Nawet jeśli batalia cała toczy się o energetykę jądrową, gdzie zamiast wysyłania do siłowni setek wagonów z tonami węgla wystarczy dostarczyć kilkadziesiąt pastylek odpowiednio wzbogaconego uranu. Wystarczy więc tylko małą walizkę rzucić z fantazją na tylne siedzenie małego fiata 126 p, jeśli takowym - na przysłowiowym chodzie - dojeżdża jeszcze panna Basia do swego biura i to niekoniecznie zaraz w centrali koncernu energetycznego. Może przecież to być najwyklesza spółka z ograniczoną odpowiedzialnością. Wszak formalny zapis prawny nie zmusza jej (tj. pani Barbary, jak i spółki) do konieczności bycia od razu (nie)wiarygodną!

Pomimo licznych i jednoznacznych w swej wymowie faktów medialnych, świadczących o mającym nastąpić już nie w świadomości, ale w rzeczywistości pospolitym ruszeniu w sprawach energetyki jądrowej, stoję jednak na stanowisku – i tu na pewno jestem w mniejszości (?) – że jednak łatwiej w Polsce o całą flotyllę małych fiacików, w ostateczności może być i polska elektryczna lżera, niż o rozpoczęcie w najbliższym terminie budowy elektrowni jądrowej w Polsce.

Dlaczego? Powód który może przyczynić się dalszych opóźnień na froncie budowy widzę jeden. I na dobitkę zupełnie banalny. Można rzec prozaiczny. I z tego też powodu już na początku powinienem się koniecznie zastrzec, że wszystkim inwestorom i osobom zaangażowanym w powstanie w Polsce energetyki jądrowej życzę zdrowia, zdrowia i jeszcze raz pieniędzy.

Jak świat światem zawsze model biznesowy zasał się na pieniądzech, a nawet kiedy jeszcze Fenicjanie ich nie wymyślili, do robienia biznesu niezbędny okazywał się towar, który wymieniało się na inny towar. I to też jest dobre wyjście. Należy pamiętać tylko, że nie mogą to być paciorki. Za czasów Kolumba za jedną dobrze wyprawioną skórę bobra Indianin otrzymywał 10, a czasami nawet i 11 koralików. Wiem, że skrupulatni historycy będą chcieli uzupełnić powyższą informację o kolory koralików. Największe wzięcie miały różnobarwne oraz błękitne. Nie dzielimy jednak nawet skóry na niedźwiedziu, choćby miał być to nawet *ursus arctos horribilis*, czyli znany u nas i ceniony grizzly.

A jeśli już za sprawą misia jesteśmy w tym momencie rozważań bliżej USA warto przywołać, że w większości tamtejszych stanów funkcjonują ... spółdzielnie energetyczne. Mają one udziały w różnego typu elektrowniach, nie wyłączając elektrowni jądrowych. I ponoć, jak wynika z dostępnych danych owe spółdzielnie energetyczne, w tym i oczywiście jądrowe i mają się finansowo całkiem dobrze, na pożytek swych zadowolonych członków. Oczywiście amerykański model spółdzielczości energetycznej nie jest jedyny. Mamy także

europejską propozycję dla tego rodzaju prosumenckiej energetyki w postaci fińskiego modelu Mankala.

Faktycznie, iż Polakom nie udaje się znaleźć consensusu w sprawach o wiele mniej skomplikowanych niż energetyka jądrowa, że przywołam właśnie spółdzielnie mieszkaniowe i wspólnoty mieszkaniowe. A skoro Polakowi przeszkadza nawet za duża wycieraczka pod drzwiami sąsiada, jak można sobie wyobrazić zgodne podejmowanie kluczowych decyzji w ramach osiedlowej elektrowni jądrowej? Nie tylko można sobie wyobrazić, ale i należy to uczynić. I to nie z powodu, że w imaginacji siła jest wielka.

Nie lubię określenia inżyniera finansowa, póki co, poprzestajmy zatem przy archaicznej księgowości. I tu pani Barbara może nam przynieść nieocenione przysługi. Może nam policzyć, wyliczyć, dodać, odjąć, podsumować. Oczywiście w wypadku kiedy chcielibyśmy zostać spółdzielczym udziałowcem jednej z wielu mających powstać w Polsce elektrowni jądrowych. I acz proponowanie dzisiaj, aby statystyczny Polak siedząc pod gruszą, zawiadywał „własnym atomem” może wydawać się karnawałową krotochwilą, proponuję jednak podejść do tej hipotezy właścicielskiej z odpowiednią dozą powagi.

Mark Twain rzekł kiedyś, że historia się nie powtarza - ona się rymuje. I to nie w rymowancie typu: *jak się rymuje/ to się bilansuje*. Skorzystajmy z doświadczeń innych. Nie są to pomysły rodem z Marsa, gdyż w praktyce gospodarczej jedną z metod finansowania projektów inwestycyjnych funkcjonujących w energetyce - w tym energetyce jądrowej - jest model spółdzielczy. I dodajmy, że dzieje się to w Stanach Zjednoczonych uważanych wszak za najbardziej kapitalistyczne państwo świata.

Ciekaw jestem co na ten temat sądzą zwolennicy energetyki prosumenckiej w naszym kraju?

Skorzystać? Nie skorzystać!? Skorzystać! A na początek przede wszystkim należy się z tymi modelami zapoznać. Ich zasadniczym wyróżnikiem jest, że dla członków spółdzielni produkcja energii elektrycznej wytwarzana jest „po kosztach”. A rządowa agencja udziela niskoprocentowych pożyczek na założenie takiej spółdzielni.

Mając podczas tegorocznych świąt Bożego Narodzenia i Nowego Roku trochę więcej wolnego czasu należy sięgnąć po ciekawe artykuły na ten temat, publikowane w „Postępie Techniki Jądrowej” (1/ 2019, 4/2019, 1/2021), których autorem jest Łukasz Sawicki.

Pożytecznej lektury!

Marek Bielski,
Przegląd Techniczny,
Warszawa

100 ROCZNICA przyznania Marii Skłodowskiej-Curie doktoratu honorowego Uniwersytetu Poznańskiego

Poznań, 8-9 listopada 2022 r



Przed uroczystym spotkaniem w Collegium Minus, siedzą od lewej: Ewelina Wajs-Baryła, Natalie Pigéard-Micault, Renaud Huynh, Héléne Langevin-Joliot, Piotr Chrzastowski i Tomasz Pospieszny. Fot. Krzysztof Baryła / Wydawnictwo Sophia.



Członkowie rodziny Marii Skłodowskiej-Curie i zarząd główny Polskiego Towarzystwa Chemicznego. Fot. Krzysztof Baryła / Wydawnictwo Sophia.



Prodziekan Wydziału Chemii UAM prof. Renata Jastrzęb, prof. Tomasz Pospieszny, prof. Héléne Langevin-Joliot i JM Rektorka prof. Bogumiła Kaniewska tuż po uroczystym przekazaniu dyplomu honoris causa Marii Skłodowskiej-Curie. Fot. Hanna Koenig



JM Rektorka prof. Bogumiła Kaniewska, prof. Héléne Langevin-Joliot, Prodziekan Wydziału Chemii UAM prof. Renata Jastrzęb i prof. Tomasz Pospieszny. Fot. Krzysztof Baryła / Wydawnictwo Sophia



Prof. Héléne Langevin-Joliot, wnuczka Marii Skłodowskiej-Curie przyjmuje dyplom honoris causa z rąk JM Rektorki prof. Bogumiły Kaniewskiej. Fot. Adrian Wykrota / UAM/.



Tekst dyplomu honorowego dla Marii Skłodowskiej-Curie uroczystie odczytał zebrany jej promotor prof. Tomasz Pospieszny. Fot. Adrian Wykrota / UAM.

JUBILEUSZ 40-LECIA PAŃSTWOWEJ AGENCJI ATOMISTYKI

WARSZAWA, 17 października 2022



Dr Łukasz Młynarkiewicz Prezes Państwowej Agencji Atomistyki gospodarzem spotkania z okazji 40-lecia Agencji



Anna Moskwa Minister Klimatu i Środowiska podczas swojego wystąpienia



Odnaczenia Prezydenckie pracowników Państwowej Agencji Atomistyki za długoletnią pracę



Odnaczenia Ministerstwa Klimatu i Środowiska za zasługi dla energetyki



Odnaczenia Ministerstwa Klimatu i Środowiska za zasługi dla środowiska