

**VIII KRAJOWA KONFERENCJA
RADIOCHEMII I CHEMII
JĄDROWEJ**



**KSIAŻKA
ABSTRAKTÓW**

Kraków 27 – 29 kwietnia 2026

Akademia Górniczo – Hutnicza

Wydział Energetyki i Paliw

www.agh.edu.pl

www.weip.agh.edu.pl

EDYTORZY
Marcin Stobiński
Sylwia Wójcik

Kraków 2026

ISBN 978-83-969343-7-6

KKRCJ – 2026

Kraków 27-29 kwietnia 2026

***VIII KRAJOWA KONFERENCJA
RADIOCHEMII I CHEMII
JĄDROWEJ***

KSIĄŻKA ABSTRAKTÓW

www.kkrcj2026.agh.edu.pl

SPIIS TREŚCI

<i>O konferencji</i>	2
<i>Tematy konferencyjne</i>	2
<i>Komitet organizacyjny</i>	6
<i>Komitet naukowy</i>	7
<i>Recenzenci</i>	9
<i>Organizatorzy</i>	10
<i>Patronat honorowy</i>	10
<i>Patronat</i>	11
<i>Sponsorzy</i>	11
<i>Abstrakty</i>	12
Komunikaty ustne	12
Plakaty	56

Parę słów o konferencji

VIII Krajowa Konferencja Radiochemii i Chemii Jądrowej odbędzie się w dniach 27 – 29 kwietnia 2026 r. w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Po przerwie od 2016 roku, konferencja ponownie integruje środowisko badaczy. To wydarzenie stanowiące okazję do wymiany wzajemnych doświadczeń oraz poszerzenia wiedzy związanej z praktycznym wykorzystaniem metod radiochemicznych oraz chemii jądrowej w wielu dziedzinach nauki i techniki.

Tematy konferencyjne

- radioanalitika
- radiometria
- efekty izotopowe
- radiofarmaceutyki
- zastosowanie radionuklidów w badaniach środowiska naturalnego
- monitoring radiacyjny
- radiochemiczne wyzwania nowoczesnego cyklu paliwowego
- zastosowanie metod jądrowych do badania i konserwacji dzieł sztuki
- wykorzystanie metod jądrowych w przemyśle
- ochrona radiologiczna i dozymetria
- gospodarka odpadami promieniotwórczymi

Komitet organizacyjny

dr hab. Katarzyna Szarłowicz, prof. AGH – przewodnicząca
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

prof. dr hab. Małgorzata Wiśniewska – skarbnik
Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

dr inż. Maciej Ciepela
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

dr inż. Filip Jędrzejek
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

mgr inż. Weronika Mendera
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

dr inż. Joanna Najman
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

dr hab. Marcin Stobiński, prof. AGH
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

mgr inż. Sylwia Wójcik
Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

Komitet naukowy

dr hab. inż. Michał Bonczyk, prof. GIG

Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Katowice

dr hab. Alicja Boryło, prof. UG

Uniwersytet Gdański, Gdańsk

prof. dr hab. Stanisław Chibowski

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

dr hab. Magdalena Długosz-Lisiecka, prof. PŁ

Politechnika Łódzka, Łódź

dr hab. Agnieszka Dołhańczuk-Śródka, prof. UO

Uniwersytet Opolski, Opole

dr hab. Daniel Janecki, prof. UO

Uniwersytet Opolski, Opole

dr hab. inż. Aleksandra Jung, prof. AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

Aneta Korczyc

Zakład Unieszkodliwiania Odpadów Promieniotwórczych, Różan

prof. dr hab. Krzysztof Kozak

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków

prof. dr hab. Barbara Kubica

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

prof. dr hab. Agnieszka Nosal-Wiercińska

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

prof. dr hab. Paweł Olko

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków

prof. dr hab. Robert Pietrzak

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza, Poznań

dr hab. Ewa Skwarek, prof. UMCS

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

prof. dr hab. Bogdan Skwarzec

Uniwersytet Gdański, Gdańsk

prof. dr hab. Katarzyna Słabkowska

Uniwersytet Mikołaja Kopernika, Toruń

dr hab. Paweł Stelmachowski, prof. UJ

Uniwersytet Jagielloński, Kraków

dr hab. Dagmara Strumińska-Parulska, prof. UG

Uniwersytet Gdański, Gdańsk

dr hab. Zbigniew Tomasz Surowiec, prof. UMCS

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

dr hab. Dagmara Tchorz-Trzeciakiewicz

Uniwersytet Wrocławski, Wrocław

prof. dr hab. inż. Grażyna Zakrzewska-Kołtuniewicz

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

Recenzenci

dr hab. inż. Michał Bonczyk, prof. GIG

Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Katowice

dr hab. Alicja Boryło, prof. UG

Uniwersytet Gdański, Gdańsk

prof. dr hab. Stanisław Chibowski

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

dr hab. Magdalena Długosz-Lisiecka, prof. PŁ

Politechnika Łódzka, Łódź

dr hab. Agnieszka Dołhańczuk-Śródka, prof. UO

Uniwersytet Opolski, Opole

dr hab. Daniel Janecki, prof. UO

Uniwersytet Opolski, Opole

dr hab. inż. Aleksandra Jung, prof. AGH

Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

prof. dr hab. Krzysztof Kozak

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków

prof. dr hab. Paweł Olko

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków

dr hab. Ewa Skwarek, prof. UMCS

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

prof. dr hab. Bogdan Skwarzec

Uniwersytet Gdański, Gdańsk

dr hab. Dagmara Strumińska-Parulska, prof. UG

Uniwersytet Gdański, Gdańsk

dr hab. Zbigniew Tomasz Surowiec, prof. UMCS

Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej, Lublin

dr hab. Katarzyna Szarłowicz, prof. AGH

Akademia Górniczo – Hutnicza, Kraków

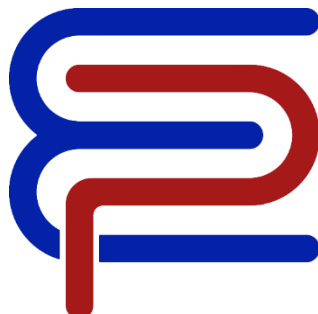
dr hab. Dagmara Tchorz-Trzeciakiewicz

Uniwersytet Wrocławski, Wrocław

Organizatorzy



Polskie Towarzystwo
Chemiczne
www.ptchem.pl



Wydział Energetyki i Paliw
www.weip.agh.edu.pl



Akademia Górniczo-Hutnicza
www.agh.edu.pl

Patronat honorowy

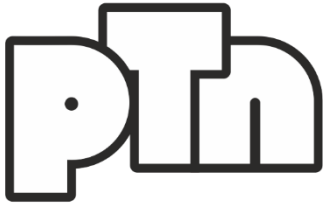


Państwowa Agencja
Atomistyki
www.gov.pl/web/paa



Polskie Towarzystwo
Chemiczne
www.ptchem.pl

Patronat



Polskie Towarzystwo
Nukleoniczne
www.ptnukleoniczne.pl



Instytut Fizyki Jądrowej
im. Henryka
Niewodniczańskiego
Polskiej Akademii Nauk
www.ifj.edu.pl



Instytut Chemii
i Techniki Jądrowej
www.ichtj.waw.pl



Centralne Laboratorium
Ochrony Radiologicznej

Centralne Laboratorium
Ochrony Radiologicznej
www.clor.waw.pl



NARODOWE
CENTRUM
BADAŃ
JĄDROWYCH
ŚWIERK

Narodowe Centrum Badań
Jądrowych
www.ncbj.gov.pl



Towarzystwo
Environmental
Geochemistry and Health
www.segh.net

Sponsorzy

irtech

Irtech Sp. z o.o.
www.irtech.pl



Canberra Packard Sp. z o.o.
www.cpce.net

Abstrakty

Komunikaty ustne

1. Monitoring skażeń promieniotwórczych w środowisku powodowanych działalnością górniczą
Monitoring of Environmental Radioactive Contamination Caused by Mining Activities
2. Zastosowanie neutronowej analizy aktywacyjnej w kryminalistyce jądrowej
The Use of Neutron Activation Analysis in Nuclear Forensics
3. Radiochemia na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie
4. Monitoring promieniotwórczości wody przeznaczonej do spożycia w świetle Dyrektywy 2013/51/Euratom
Radioactivity of Water Intended for Human Consumption According to Directive 2013/51/Euratom
5. Działalność naukowa śp. Profesora Henryka Bema
6. Neutronowa analiza aktywacyjna chondrytów zwyczajnych
Neutron Activation Analysis of Ordinary Chondrites
7. Klasyczna metoda Frickego w pomiarach dawki promieniowania jonizującego
The Classical Fricke Method for Measuring Ionizing Radiation Doses
8. Badania sorpcji toru (IV) na materiałach krzemionkowych zawierających ligandy fosforowe
Studies on the Sorption of Thorium (IV) on Silica Materials Containing Phosphorus Ligands
9. Wykorzystanie niskokosztowych aktywnych mierników do oceny narażenia na radon
Using of Low-Cost Active Monitors to Assess Radon Exposure
10. Charakterystyka fizykochemiczna pyłu zawieszonego PM_{2.5} w ujęciu sezonowym i długookresowym z zastosowaniem mikroskopii TEM/EDS
Seasonal and Long-Term Physicochemical Characterization of PM_{2.5} by TEM/EDS Analysis
11. Elektrochemiczne osadzanie lantanu z roztworów wodnych pod kątem otrzymywania tarcz akceleratorowych
Electrochemical Deposition of Lanthanum from Aqueous Solutions for the Production of Accelerator Targets
12. Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego – SOLARIS – unikatowa placówka w Europie Środkowo-Wschodniej
National Synchrotron Radiation Centre – SOLARIS – a Unique Facility in Central and Eastern Europe
13. Powierzchniowa i masowa ekshalacja Rn-222 z kongregacji polimetalicznych: dane eksperymentalne i analiza mechanizmów uwalniania
Surface and Mass Exhalation of Rn-222 from Polymetallic Nodules: Experimental Data and Analysis of Release Mechanisms
14. Oznaczanie izotopów radu w wodach naturalnych o niskich aktywnościach i wysokiej konkurencji jonowej
Determination of Radium Isotopes in Natural Waters with Low Radioactive Concentrations and High Ionic Interference
15. Wpływ modyfikacji geometrii kształtu detektora TL typu MCP-N na dokładność pomiaru dawki w medycynie nuklearnej
The Effect of Geometric Modifications of the MCP-N TL Detector on the Accuracy of Dose Measurement in Nuclear Medicine
16. Wykorzystanie metody optycznie stymulowanej luminescencji elementów biżuterii w dozymetrii retrospektywnej
The use of Optically Stimulated Luminescence of Jewellery Components in Retrospective Dosimetry

17. Zmiany czasowe stężeń radionuklidów Sr-90 i Cs-137 w diecie mieszkańców czterech polskich miast
Tracking Dietary Shifts in Radioactive Isotopes: Temporal Changes in Sr-90 and Cs-137 Levels Among Residents of Four Polish Cities
18. Prezentacja oferty firmy Canberra Packard Sp. z o.o.
19. Radiochemia w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej
Radiochemistry at the Institute of Nuclear Chemistry and Technology
20. Pomiar obywatelski jako uzupełniająca strategia monitorowania poziomu promieniowania jonizującego w zagrożeniach spowodowanych konfliktami zbrojnymi lub klęskami żywiołowymi – projekt CITISTRA w Polsce
Citizen Measurements as a Complementary Strategy for Monitoring Ionizing Radiation Levels in Threats Caused by Armed Conflicts or Natural Disasters – the CITISTRA Project in Poland
21. Materiał sorpcyjny na bazie mezoporowatej krzemionki SBA-15 do szybkiej remediacji wód skażonych radioizotopami strontu
SBA-15 Mesoporous Silica-Based Sorbent for Rapid Remediation of Waters Contaminated with Strontium Radioisotopes
22. Monitoring skażeń radioaktywnych w Arktyce
Monitoring of Radioactivity in the Arctic
23. Zastosowanie wybranych materiałów codziennego użytku w dozymetrii awaryjnej
Application of Selected Everyday Materials in Emergency Dosimetry
24. Wpływ temperatury kalcynacji na ługowanie uranu z produktów spalania węgla
Influence of Calcination Temperature on Uranium Leaching from Coal Combustion Products
25. Poszukiwanie długożyciowych „wymarłych” radionuklidów w materiale skalnym z kominów kimberlitowych
Searching for Long-Lived "Extinct" Radionuclides in Rock Material from Kimberlite Pipes
26. Optymalizacja procesu wytwarzania beżnośnikowych znaczników do radiochemicznej analizy strontu i rubidu
Optimization of the Production Process of Carrier-Free Tracers for the Radiochemical Analysis of Strontium and Rubidium
27. Modelowanie transportu promieniowania gamma w analizach demontażu elementów reaktorów PWR
Numerical Approach to Determine the Radiation Field Around Dismantled Structural Components of the PWR Reactors
28. Obliczanie okresu półtrwania radionuklidów w środowisku z wykorzystaniem modeli stosowanych w degradacji pestycydów
Calculation of the Half-Life of Radionuclides in the Environment Using Models Used in Pesticide Degradation
29. Badania koncentracji izotopów promieniotwórczych w materiałach węglowych wytworzonych w procesie termochemicznej konwersji biomasy leśnej
The Concentration of Radioactive Isotopes in Carbonaceous Materials Produced by the Thermochemical Conversion of Forest Biomass
30. Perspektywy zagospodarowania odpadów radioaktywnych z małych reaktorów modułowych (SMR) – doświadczenia z programu EURAD-2 FORSAFF
Perspectives for Radioactive Waste Management of Small Modular Reactors (SMR) – Lessons from the EURAD-2 FORSAFF Programme
31. Rola modelowania atmosferycznego w prognozowaniu dawek promieniowania pochodzących z odpadów NORM
The Role of Atmospheric Modelling in Predicting Radiation Doses from NORM Waste
32. Analiza radiochemiczna środowiska
Radioanalytical Analysis of the Environment
33. Zmodyfikowane podejście do oznaczania izotopów radu w próbkach ciekłych metodą LSC
Modified Method for the Determination of Radium Isotopes in Liquid Samples Using LSC

34. Rozkład aktywności izotopów gamma promieniotwórczych w glebach technogenicznych w rejonach historycznego górnictwa rud metali w Górach Świętokrzyskich
Distribution of Gamma Isotopes Activity in Technogenic Soils (Technosols) in Areas of Historical Metal Ore Mining in the Świętokrzyskie Mountains
35. Od monitoringu środowiska do energetyki jądrowej: osiągnięcia i kierunki rozwoju Zespołu Analityki Radiochemicznej i Promieniotwórczości w Środowisku
From Environmental Monitoring to Nuclear Energy: Achievements and Future Directions of the Radiochemical Analysis and Environmental Radioactivity Team
36. Radioaktywność środowiska na terenie wybranych wałbrzyskich hałd i osadników kopalnianych
Environmental Radioactivity in Selected Spoil Heaps and Tailings Ponds in the Wałbrzych Area
37. Wdrożenie symulacji Monte Carlo w kalibracji i analizie widm promieniowania gamma
Implementation of Monte Carlo Simulations in the Calibration and Analysis of Gamma Radiation Spectra
38. Zastosowanie spektrometrii mas do pomiaru stosunku masowego $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$ w środowisku glacialnym
Determination of $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$ Mass Ratio in Samples from Glacial Environment Using Mass Spectrometry
39. Zmienność aktywności Rn-222 w pomieszczeniu mieszkalnym w zależności od warunków atmosferycznych – analiza z wykorzystaniem metod szeregów czasowych
Variations in Rn-222 Activity Levels in a Residential Room as a Function of Weather Conditions – an Analysis Using Time Series Methods
40. Zastosowanie metody absorpcji promieniowania gamma do kalibracji zwężki Venturiego w przepływie dwufazowym ciecz-gaz
Application of the Gamma Absorption Method to Calibrate a Venturi Tube in Two-Phase Liquid-Gas Flow
41. Excitation Functions of Proton-Induced Reactions on Natural Zinc in the 5–60 MeV Energy Range: Implications for Medical Radionuclide Production and Nuclear Data Evaluation



Monitoring skażeń promieniotwórczych w środowisku powodowanych działalnością górnictw

Michał Bonczyk^{1*}, Damian Stefański¹, Wojciech Galios¹, Izabela Chmielewska¹

¹Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej, Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Katowice

*E-mail: mbonczyk@gig.eu

Słowa kluczowe: rad, górnictwo, zrzuty do środowiska, skażenia promieniotwórcze

Szczególną cechą śląskich kopalń węgla jest występowanie wód zawierających podwyższone stężenia izotopów radu ^{226}Ra i ^{228}Ra . Eksploatacja pokładów węgla prowadzona jest obecnie na poziomach przekraczających głębokość 1000 metrów, gdzie występują reliktywne wody o wysokich stężeniach radu. Wody te często zawierają również jony baru (Ba).

Wydobycie węgla wiąże się z ciągłym odprowadzaniem wód na powierzchnię oraz ich zrzutem do środowiska zgodnie z obowiązującym pozwoleniem wodnoprawnym. Kontakt wód zawierających rad i bar z wodami zawierającymi jony siarczanowe prowadzi do wytrącania osadów złożonych z siarczanu radu i baru.

W ramach realizacji zadań statutowych Śląskie Centrum Radioaktywności Środowiska od 2023 roku prowadzi kompleksowy monitoring zrzutów wód kopalnianych, obejmujący badania wód oraz osadów powstających w miejscu ich odprowadzania.

Zmierzona aktywność izotopów radu w wodach mieściła się w zakresie: ^{226}Ra : 0,07–9,4 Bq·dm⁻³, ^{228}Ra : 0,06–6,3 Bq·dm⁻³.

Zmierzona aktywność izotopów radu w osadach w punktach zrzutu wynosiła: ^{226}Ra : 7,8–1275 Bq·kg⁻¹, ^{228}Ra : 9,5–3460 Bq·kg⁻¹.

Wszystkie próbki pobierano w punktach zrzutu do naturalnych cieków wodnych (rzek). Badania wykonano metodą spektrometrii ciekłoscintylacyjnej oraz spektrometrii promieniowania gamma w akredytowanym laboratorium (ISO 17025:2018-2) Śląskiego Centrum Radioaktywności Środowiska.

Zastosowanie neutronowej analizy aktywacyjnej w kryminalistyce jądrowej

Ewelina Chajduk*, Paweł Kalbarczyk, Ewa Topyła

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie, Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych, Warszawa

*E-mail: e.chajduk@ichtj.waw.pl

Słowa kluczowe: INAA, kryminalistyka jądrowa, analiza pierwiastkowa, ICP-MS

Jądrowa analiza kryminalistyczna (ang. *nuclear forensic*), została zdefiniowana jako: badanie materiałów jądrowych (rud, materiałów wyjściowych lub specjalnych materiałów rozszczepialnych np. ^{233}U) lub innych materiałów radioaktywnych, tzn. zawierających substancje promieniotwórcze, lub dowodów, które są skażone nuklidami promieniotwórczymi - w kontekście postępowania prawnego na mocy prawa międzynarodowego lub prawa krajowego związanego z bezpieczeństwem jądrowym.

Celem analizy materiałów jądrowych lub radioaktywnych jest określenie ich składu, pochodzenia oraz zastosowania [1]. Obejmuje ona zarówno techniki pomiarów radiometrycznych, jak i nieradiometrycznych. Analiza pierwiastkowa jest jedną z metod charakteryzacji stosowanych w analizie kryminalistycznej, do tego celu najczęściej wykorzystuje się ICP-MS i ICP-OES.

W niniejszej pracy zastosowano metodę INAA do charakterystyki rud uranowych, oznaczania zanieczyszczeń w związkach uranu oraz zanieczyszczeń w materiałach dodatkowych, np. materiałach opakowaniowych czy odczynnikach stosowanych w obróbce materiałów jądrowych. Aktywację przeprowadzono w reaktorze MARIA w strumieniu neutronów termicznych ($10^{14} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$). W zależności od próbki czas aktywacji wynosił od 5 min (stal nierdzewna) do 1 godz. (próbki geologiczne). Czas chłodzenia wynosił 1–10 dni, czas pomiaru: 10 min. – 5 godz.

Przeprowadzono porównanie przydatności zastosowania metod INAA i ICP-MS do badania składu chemicznego w tych matrycach. INAA jest główną metodą analizy chemicznej materiałów trudno rozpuszczalnych np. węgla krzemu - stosowanego jako warstwa ochronna w paliwie jądrowym typu TRISO.

Podziękowania

„Praca została częściowo sfinansowana ze środków IAEA: projekt CRP J02013: Applying Nuclear Forensic Science to Respond to a Nuclear Security Event i CRP J02020 Nuclear Forensics Science to Bridge the Radiological Crime Scene to the Nuclear Forensics Laboratory.”

Bibliografia

[1] IAEA. (2015). "Nuclear Forensics in Support of Investigations. International Atomic Energy Agency". IAEA Nuclear Security Series No. 2-G, Vienna

Radiochemia na Uniwersytecie Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie

Stanisław Chibowski^{1*}, Małgorzata Wiśniewska¹

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Instytut Nauk Chemicznych, Lublin

*E-mail: stanislaw.chibowski@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: skażenia promieniotwórcze gleby, migracja izotopów w środowisku, monitoring radiacyjny powietrza, biokompatybilne nanomateriały, radiofarmaceutyki, adsorpcja związków wielkocząsteczkowych, stabilność układów koloidalnych, biowęgiel w remediacji gleb

Początki Radiochemii w UMCS łączone są z rokiem 1969, kiedy to w Instytucie Chemii, Wydziału Matematyki, Fizyki i Chemii utworzono Pracownię Radioizotopową. Od tego też roku studenci rozpoczęli zajęcia dydaktyczne z podstaw radiochemii. Pomimo początkowych trudności, głównie z braku sprzętu, następował jednak szybki rozwój tej jednostki, co stało się podstawą do tego, że w roku 1974 w miejsce Pracowni powołano Zakład Radiochemii i Zastosowań Radioizotopów. Zakład w krótkim czasie uzyskał certyfikat dla Pracowni Izotopowej II klasy. Pozwoliło to na zakup otwartych źródeł promieniotwórczych. Posiadanie takich źródeł przyczyniło się do prowadzenia bardzo precyzyjnych pomiarów związanych z fizykochemią powierzchni i stabilnością układów zdyspergowanych oraz adsorpcją substancji wielkocząsteczkowych na granicy faz ciało stałe-roztwór. Ze względu na rozwój prac tego typu, w roku 1983 nazwę Zakładu zmieniono na Zakład Radiochemii i Chemii Koloidów. W roku 2019 Zakład ten połączono z Zakładem Chemii Środowiskowej i utworzono Katedrę Radiochemii i Chemii Środowiskowej.

Badania prowadzone w wyżej wymienionych jednostkach, oprócz wspomnianych już pomiarów adsorpcyjnych na różnych granicach faz, od wielu lat koncentrują się też na wielokierunkowym monitoringu skażeń promieniotwórczych, środowiska naturalnego – oznaczaniu aktywności promieniotwórczej izotopów naturalnych i pochodzenia antropogenicznego w powietrzu, wodzie, glebie, osadach dennych i aluwialnych, a także ich transferu do organizmów roślinnych. Prowadzony jest również stały monitoring powietrza oraz badania nad obecnością radonu. Szczególną rolę odgrywały również badania nad nowymi metodami wydzielenia i oznaczania izotopów w próbkach naturalnych, a w szczególności Pu-239,240 i Sr-90. Dodatkowo ważnym obszarem badawczym jest synteza biomateriałów, biokompozytów i radiofarmaceutyków, w których wykorzystuje się izotopy promieniotwórcze [1].

Bibliografia

[1] Chibowski, S., Wiśniewska, M., Ostolska, I., Skwarek, E., Solecki, J. (2024). „Od Pracowni Radioizotopowej do Katedry Radiochemii i Chemii Środowiskowej”. *Wiadomości Chemiczne*, 78, 9-10, 1129

Monitoring promieniotwórczości wody przeznaczonej do spożycia w świetle Dyrektywy 2013/51/Euratom

Izabela Chmielewska^{1*}

¹Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej, Katowice

*E-mail: ichmielewska@gig.eu

Słowa kluczowe: woda przeznaczona do spożycia, monitoring, zawartość substancji promieniotwórczych, dawka orientacyjna

Zawartość substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi stanowi istotny, lecz często pomijany element bezpieczeństwa żywności oraz długoterminowej ochrony zdrowia publicznego. Woda pitna jest nie tylko bezpośrednią drogą narażenia na radionuklidy, lecz także pośrednio przyczynia się do ich przenikania do łańcucha żywnościowego, wpływając na jakość surowców rolnych, produktów pochodzenia zwierzęcego oraz żywności przetworzonej. W większości krajów, monitoring radiologiczny wody pitnej opiera się na przesiewowych pomiarach całkowitej aktywności alfa i beta, które mają znikomą przydatność w ocenie ryzyka zdrowotnego opartej na skutecznej dawce obciążającej, pochodzącej od wniknięcia nuklidów promieniotwórczych drogą pokarmową [1].

Niniejsza praca stanowi krytyczny przegląd strategii monitoringu radionuklidów w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi, ze szczególnym uwzględnieniem izotopów radu: Ra-226 i Ra-228, radonu Rn-222 oraz trytu H-3. Analiza oparta została na danych pochodzących z wielkoskalowych krajowych kampanii monitoringowych prowadzonych w latach 2018 i 2023. Praca wskazuje, że podejście oparte na bezpośrednim oznaczaniu wybranych pierwiastków promieniotwórczych umożliwia bardziej precyzyjną i istotną z punktu widzenia zdrowia ocenę dawki orientacyjnej, eliminując błędy metodyczne związane m.in. z kalibracją układu pomiarowego, obecnością izotopu K-40 [2].

Przeгляд wyników wskazuje, że woda pitna charakteryzuje się na ogół niską zawartością substancji promieniotwórczych, jednak lokalne uwarunkowania geologiczne i hydrogeochemiczne mogą sprzyjać podwyższonym stężeniom radonu oraz izotopów radu. Z punktu widzenia toksykologii żywności szczególne znaczenie ma rad, który jako analog wapnia może ulegać kumulacji w układzie kostnym i stanowiąc źródło przewlekłego narażenia.

Dodatkowo należy podkreślić, że pomiary przesiewowe alfa/beta nie pozwalają na pełną ocenę narażenia radiacyjnego. Pomiary konkretnych izotopów promieniotwórczych umożliwiają realną ocenę ryzyka zdrowotnego. Zaproponowane podejście stanowi naukowo uzasadniony model monitoringu wody przeznaczonej do spożycia, wspierający ochronę konsumentów oraz integrację zagadnień ochrony radiologicznej z szeroko pojętym bezpieczeństwem żywności i żywienia.

Bibliografia

[1] Dyrektywa Rady 51/2013/Euratom z dnia 22 października 2013 określająca wymogi dotyczące ochrony zdrowia ludzi w odniesieniu do substancji promieniotwórczych w wodzie przeznaczonej do spożycia przez ludzi

[2] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2017, poz. 2294)

Działalność naukowa śp. Profesora Henryka Bema

Magdalena Długosz-Lisiecka¹

¹Politechnika Łódzka, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź



Profesor dr hab. inż. Henryk Bem (1940–2025) był wybitnym chemikiem, cenionym nauczycielem akademickim i wieloletnim pracownikiem Politechniki Łódzkiej. Urodzony w Łodzi, całe swoje życie zawodowe związał z nauką i dydaktyką, pozostawiając trwały ślad w rozwoju radiochemii środowiskowej w Polsce. Studia ukończył w 1962 roku na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej, a następnie rozpoczął pracę naukową w Katedrze Chemii Fizycznej

pod kierunkiem prof. Alicji Dorabalskiej. To właśnie tam ukształtowały się jego zainteresowania badawcze związane z zastosowaniem izotopów w analizie środowiska. Stopień doktora uzyskał w 1970 roku, habilitację w 1987, a tytuł profesora nauk chemicznych otrzymał w 2003 roku.

Dorobek naukowy profesora obejmuje ponad 80 publikacji, trzy monografie oraz patenty, które znalazły uznanie zarówno w kraju, jak i za granicą. Jego badania koncentrowały się na opracowywaniu nowoczesnych metod oznaczania radionuklidów w próbkach środowiskowych i przemysłowych, z wykorzystaniem zaawansowanych technik radiometrycznych i instrumentalnych. Szczególne miejsce w jego pracy zajmowały zagadnienia ochrony radiologicznej oraz oceny wpływu działalności człowieka na poziom promieniowania. Dzięki jego inicjatywie rozwinięto nowoczesne zaplecze aparaturowe, które przyczyniło się do wzmocnienia pozycji łódzkiego ośrodka radiochemicznego.

Istotnym elementem kariery profesora, była działalność międzynarodowa. Pracował naukowo w Kanadzie, a także jako ekspert ds. ochrony radiologicznej w Kuwejcie, gdzie współtworzył systemy monitorowania promieniowania i uczestniczył w odbudowie laboratoriów po zniszczeniach wojennych. Po powrocie do Polski pełnił funkcje kierownicze na Wydziale Chemicznym Politechniki Łódzkiej, w tym prodziekana i dziekana, aktywnie uczestnicząc w kształtowaniu polityki dydaktycznej i naukowej uczelni.

Profesor Bem był także wybitnym pedagogiem i mentorem. Wypromował siedmiu doktorów oraz liczne grono absolwentów, z których wielu kontynuuje jego badania. Znany był z życzliwości, otwartości i gotowości do dzielenia się wiedzą. Nawet po przejściu na emeryturę pozostawał aktywny naukowo, wspierając młodszych współpracowników.

Zmarł 21 sierpnia 2025 roku w wieku 85 lat, pozostawiając po sobie bogaty dorobek naukowy oraz pamięć o człowieku oddanym nauce i edukacji. Jego działalność stanowi przykład harmonijnego łączenia badań naukowych z praktyką oraz inspiracji dla kolejnych pokoleń badaczy.



Neutronowa analiza aktywacyjna chondrytów zwyczajnych

Magdalena Długosz-Lisiecka^{1*}, Łukasz Albiński²

¹Politechnika Łódzka, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź

²Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź

*E-mail: magdalena.dlugosz@p.lodz.pl

Słowa kluczowe: analiza aktywacji neutronowej, spektrometria gamma, stosunki izotopowe, chondryty

W tych badaniach wykorzystano neutronową analizę aktywacyjną połączoną z wysokorozdzielczą spektrometrią gamma HPGe. Metodę zastosowano w przypadku sześciu zwykłych próbek meteorytów kamiennych tj. chondrytów zwyczajnych napromieniowanych przez około 21-23 dni przy użyciu źródła neutronów Pu-Be. Widma gamma uzyskano przed napromieniowaniem, bezpośrednio po aktywacji i po okresie chłodzenia w celu identyfikacji krótko- i średniożyciowych produktów aktywacji. Zidentyfikowano kilka radionuklidów wytworzonych podczas aktywacji, w tym ^{56}Mn , ^{24}Na , ^{46}Sc , ^{51}Cr , ^{54}Mn , ^{59}Fe i ^{60}Co , podczas gdy potwierdzono również naturalnie występujące radionuklidy ^{40}K i ^{26}Al . Względne stosunki radionuklidów wytworzonych podczas aktywacji oceniono jako wskaźniki porównawcze niejednorodności chemicznej. Stosunki obejmujące radionuklidy litofilne i metaliczne (np. $^{46}\text{Sc}/^{59}\text{Fe}$, $^{46}\text{Sc}/^{60}\text{Co}$) odzwierciedlają różnice między składnikami krzemianowymi i metalicznymi, podczas gdy stosunki wrażliwe na reakcje progowe (np. $^{54}\text{Mn}/^{59}\text{Fe}$) dostarczają pośrednich informacji na temat udziału szybkich neutronów ze źródła Pu-Be.

Stosunki takie jak $^{54}\text{Mn}/^{59}\text{Fe}$ i $^{51}\text{Cr}/^{54}\text{Mn}$ są wrażliwe na różne kanały reakcji indukowanych neutronami, w tym reakcje progowe, i mogą odzwierciedlać udział szybkich neutronów charakterystycznych dla źródła Pu-Be.

Stosunki te oferują zatem pośrednią sondę widma energii neutronów oddziałujących ze złożoną matrycą naturalną.

Względnie stabilne stosunki $^{59}\text{Fe}/^{60}\text{Co}$ obserwowane w powtarzanych pomiarach wskazują na jednorodność metalicznego składnika Fe-Ni i potwierdzają skuteczność zastosowanej normalizacji geometrii i poprawek na samoabsorpcję. Łącznie zestaw stosunków izotopów aktywacji tworzy porównawczy odcisk palca aktywacji, który może być wykorzystany do względnego porównania próbek chondrytów napromieniowanych w identycznych warunkach.

Klasyczna metoda Frickego w pomiarach dawki promieniowania jonizującego

Joanna Dudala^{1*}, Lena Frankowska¹, Aleksandra Kowalczyk¹, Zenon Matuszak¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

*E-mail: dudala@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: dozymetria chemiczna, dozymetr Frickego

Prezentowana praca powstała w ramach projektu dyplomowego. Celem pracy było zbadanie właściwości dozymetru Frickego w warunkach laboratorium studenckiego oraz ocena możliwości jego wykorzystania do pomiarów dawek promieniowania rentgenowskiego.

W oparciu o ogólnodostępną literaturę [1,2,3] przygotowano roztwór dozymetryczny, a następnie poddano napromienieniu wiązką promieniowania rentgenowskiego w zakresie dawek od ~70 mGy do ~3 Gy, przy różnych mocach dawki. Podstawą działania dozymetru Frickego jest reakcja utleniania jonów żelaza Fe^{2+} do Fe^{3+} [1,2]. Miarą dawki pochłoniętej w badanym roztworze jest stężenie jonów Fe^{3+} , powstałych w wyniku radiacyjnego utleniania jonów Fe^{2+} , które było mierzone metodą spektrofotometryczną. Wykorzystano pomiar absorpcji dla długości fali 304 nm, czyli z zakresu promieniowania ultrafioletowego, wykorzystując spektrometr Jasco V-550. W pracy podjęto również próbę modyfikacji roztworu dozymetrycznego, przez dodanie oranżu ksylenolowego - XO, tworzącego kompleks barwny z jonami żelaza Fe^{3+} , którego maksimum absorpcji przypada dla ~580 nm, co umożliwi pomiar w warunkach światła widzialnego oraz zwiększenie czułości pomiaru spektrofotometrycznego [4].

Wstępne wyniki pokazały, że badany roztwór dozymetryczny cechuje się liniową odpowiedzią w zakresie stosowanych dawek promieniowania rentgenowskiego. Zauważono słabą zależność odpowiedzi dozymetru od mocy dawki. Stwierdzono również, że trwałe kompleksy barwne powstają w próbkach, w których stosunek molowy Fe^{3+}/XO jest większy od jedności.

Podziękowania

Praca została zrealizowana przy wsparciu finansowym Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach dotacji na badania naukowe.

Bibliografia

- [1] Fricke, H., Morse, S. (1927). „The chemical action of Roentgen rays on dilute ferrous sulphate solutions as a measure of dose”. American Journal of Roentgenology, Radium Therapy, and Nuclear Medicine, vol. (18), 430-432
- [2] Broszkiewicz, R. (1971). „Chemiczne metody dozymetrii promieniowania jonizującego”. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne (WNT), Warszawa
- [3] LaVerne, J. A. (2004). „Fricke dosimetry and applications in radiation chemistry”. A Center for Radiation Chemistry Research, Idaho National Laboratory, Idaho Falls
- [4] Moussous, O., Medjadj, T., Benguerba, M. (2011). „FBX aqueous chemical dosimeter for measurements of dosimetric parameters”. Applied Radiation and Isotopes, vol. (69), issue 2, 399-402

Badania sorpcji toru (IV) na materiałach krzemionkowych zawierających ligandy fosforowe

Ewelina Grabias¹, Bartosz Płaska², Alexey Maximenko³, Marek Majdan⁴, Agnieszka Gładysz-Płaska^{4*}

¹Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Wydział Farmaceutyczny, Lublin

²Uniwersytet Medyczny w Lublinie, Wydział Lekarsko-Dentystyczny, Lublin

³Uniwersytet Jagielloński, Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS, Kraków

⁴Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Lublin

*E-mail: agnieszka.gladysz-plaska@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: tor, sorpcja, XANES/EXAFS, P-ligand

Tor (IV) jest aktywnym wykorzystywanym w energetyce jądrowej, w produkcji stopów metali, elektronice oraz optyce. Ze względu na swoją radioaktywność oraz zdolność do kumulowania się w organizmach żywych stanowi zagrożenie dla zdrowia ludzi, zwierząt i roślin, gdyż może prowadzić do poważnych konsekwencji zdrowotnych, takich jak nowotwory kości, choroby płuc, trzustki i wątroby, zmiany w DNA. Z tego względu ważne jest poszukiwanie metod do jego usuwania i odzyskiwania ze środowisk wodnych [1].

Celem pracy było otrzymanie adsorbentów na bazie krzemionki funkcjonalizowanych grupami zawierającymi atomy fosforu w postaci grup fosfonowych lub fosforanowych (V) oraz zbadanie ich zdolności do sorpcji jonów toru (IV). Analiza wpływu wybranych parametrów na przebieg procesu sorpcji wykazała, że optymalne warunki adsorpcji jonów toru (IV) obejmują pH 6,1, czas kontaktu faz adsorbent-roztwór wynoszący 240 minut oraz temperaturę 20°C. Stwierdzono, że proces sorpcji ma charakter fizyczno-chemiczny i przebiega z utworzeniem monowarstwy, co potwierdza dobre dopasowanie danych eksperymentalnych do modeli izoterm Langmuira oraz Langmuira-Freundlicha.

W badaniach wykorzystano spektroskopię XANES (X-ray Absorption Near Edge Structure) w celu określenia mechanizmu sorpcji jonów toru (IV) na powierzchni otrzymanych materiałów. Technika ta umożliwia analizę lokalnego środowiska chemicznego atomów toru na powierzchni sorbentu oraz pozwala określić stopień jego utlenienia i zmiany w strukturze elektronowej po związaniu z powierzchnią materiału [2, 3]. Porównanie widm XANES sorbentu przed i po procesie sorpcji umożliwiło również określenie geometrii otoczenia koordynacyjnego toru oraz udziału oddziaływań chemicznych w procesie adsorpcji, co pozwala lepiej wyjaśnić rolę grup fosfonowych i fosforowych w wiązaniu aktywności.

Podziękowania

Badania z wykorzystaniem spektroskopii XANES przeprowadzono w Narodowym Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS w ramach przyznanego czasu pomiarowego (proposals ID: 231126).

Bibliografia

- [1] Alipour, D., Kowsari, E., Ramazani, A. (2016). „*Adsorption of thorium (IV) from simulated radioactive wastewater using functionalized nanofibrous adsorbent*”. *Journal of Hazardous Materials*, 317, 590–599
- [2] Brown, G.E., Sturchio, N.C. (2002). “*An overview of synchrotron radiation applications to low temperature geochemistry and environmental science*”. *Mineralogy and Geochemistry* 49 (1), 1–115
- [3] Fenter, P.A., Rivers, M.L., Sturchio, N.C., Sutton, S.R., (Eds.). (2002). “*Applications of Synchrotron Radiation in Low-Temperature Geochemistry and Environmental Science*” (Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 49, 1–115). Mineralogical Society of America

Wykorzystanie niskokosztowych aktywnych mierników do oceny narażenia na radon

Dominik Grządziel^{1*}, Joanna Kubiak², Krzysztof Kozak¹, Jadwiga Mazur¹, Jakub Lukas¹, Mariusz Mroczek¹

¹Institut Fizyki Jądrowej PAN, Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych, Kraków

²Politechnika Poznańska, Instytut Inżynierii Środowiska i Instalacji Budowlanych, Poznań

*E-mail: dominik.grzadziel@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: radon, dozymetria, dawka, mierniki aktywne

Zalecenia Dyrektywy Rady Unii Europejskiej 2013/59/EURATOM z dnia 5 grudnia 2013 wprowadziły obligatoryjność długoterminowych pomiarów stężenia radonu w miejscach pracy w 27 powiatach, w 6 województwach w Polsce.

Pomiary te z reguły wykonywane są przy pomocy detektorów pasywnych, mierzących stężenie radonu przez całą dobę, co najmniej 1 miesiąc. Uzyskany wynik jest uśrednionym stężeniem radonu z całego okresu pomiarowego.

Liczne badania [1,2] wykazały, że stężenie radonu w miejscach pracy ulega znaczącym zmianom na przestrzeni doby. W trakcie dnia stężenie radonu ulega obniżeniu na skutek wentylacji, wywołanej ruchem ludzi, otwieraniem okien i drzwi czy poprzez pracę klimatyzacji. W momencie, kiedy ruch w danym pomieszczeniu zamiera, zamykane są okna i drzwi, a klimatyzacja przechodzi w stan spoczynku - z reguły obserwujemy podwyższenie stężenia radonu.

Z tego powodu średnie stężenie radonu zmierzone przy pomocy detektorów pasywnych z całego okresu ekspozycji może być zawyżone w porównaniu do stężenia radonu występującego w trakcie dnia, czyli rzeczywistego stężenia radonu, na które narażona jest osoba w trakcie godzin pracy.

Rozwiązaniem tego problemu są mierniki aktywne mierzące radon ze stałym krokiem czasowym (np. co 60 minut) i zapisujące te wartości. Otwiera to możliwości dalszej analizy takiego pomiaru i np. obliczania średniego stężenia radonu tylko z okresu czasu pracy.

Do niedawna rynek aktywnych mierników radonu składał się jedynie z drogich profesjonalnych monitorów, wykorzystywanych głównie do celów badawczych.

Rosnąca świadomość wpływu radonu na ludzkie zdrowie i upowszechnienie dozymetrii radonowej doprowadziły do znaczącego rozwoju rynku niskokosztowych aktywnych mierników tego gazu.

W Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych przeprowadzono porównania kilku najpopularniejszych powszechnie dostępnych niskokosztowych mierników radonu [3].

W prezentacji przedstawione zostaną wyniki tych porównań, obejmujące kalibracje mierników w różnych stężeniach radonu oraz badanie ich czasu reakcji na gwałtowne zmiany tych stężeń.

Bibliografia

[1] Kozak, K., Grządziel, D., Poędnik, B., Mazur, J., Dudzińska, M.R., Mroczek, M. (2014).

„Air conditioning impact on the dynamics of radon and its daughter’s concentration”.

Radiation Protection Dosimetry, Vol. 162, No. 4, pp. 663–673

[2] Grządziel, D., Kozak, K., Mazur, J., Poędnik, B., Dudzińska, M.R., Bilka, I. (2016).

„The influence of air conditioning changes on the effective dose due to radon and its short-lived decay products”. NUKLEONIKA, 61(3), pp.239-244

[3] Kubiak, J., Grządziel, D., Basińska, M. (2025). „The market and comparison of low-cost radon meters in Europe with the example of Poland”. Radiation Measurements 189, 107539

Charakterystyka fizykochemiczna pyłu zawieszonego PM_{2.5} w ujęciu sezonowym i długookresowym z zastosowaniem mikroskopii TEM/EDS

Patryk Grzywa^{1*}, Marta Gajewska², Lucyna Samek¹

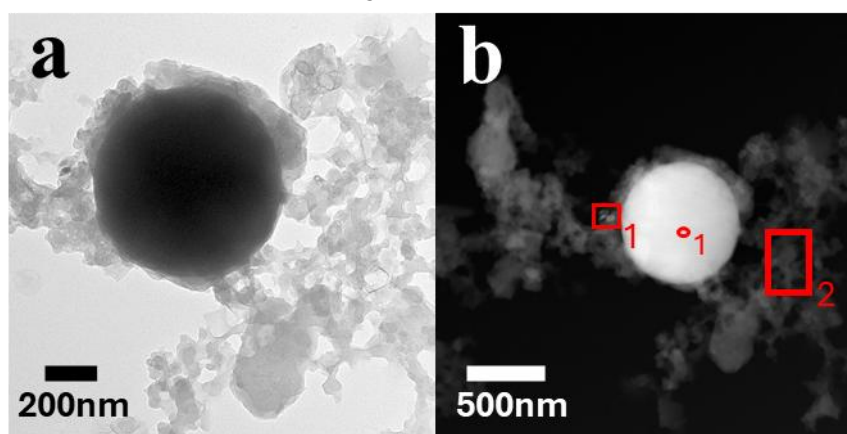
¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

²Akademia Górniczo-Hutnicza, Akademickie Centrum Materiałów i Nanotechnologii, Kraków

*E-mail: patrykgrzywa@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: pył zawieszony PM_{2.5}, aerozole atmosferyczne, charakterystyka fizykochemiczna, transmisyjny mikroskop elektronowy (TEM)

Pył zawieszony PM_{2.5} zawiera nanometryczne cząstki stanowiące istotne zagrożenie dla zdrowia człowieka ze względu na zdolność penetracji głębokich partii układu oddechowego. W pracy przedstawiono sezonową oraz długookresową charakterystykę fizykochemiczną PM_{2.5} pobranego w Krakowie podczas dwóch kampanii pomiarowych: latem 2012 i 2025 oraz zimą 2013 i 2026. Skład pierwiastkowy próbek oznaczono metodą fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii (EDXRF). Morfologię oraz skład pierwiastkowy pojedynczych cząstek analizowano z wykorzystaniem transmisyjnej mikroskopii elektronowej sprzężonej ze spektroskopią dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (TEM/EDS). Uzyskane wyniki wskazują na zmienność sezonową w strukturze i składzie cząstek. W próbkach letnich dominowały aerozole węglowe oraz cząstki mineralne, natomiast w próbkach zimowych obserwowano liczne agregaty sadzy i cząstki bogate w metale, w tym tlenki żelaza, związane z emisjami spalania. Cząstki wykazywały zróżnicowaną morfologię, od zwartych aglomeratów po struktury porowate i nieregularne, odzwierciedlając zróżnicowane mechanizmy formowania i procesy atmosferyczne. Wysokiej rozdzielczości obrazowanie TEM (HR TEM) ujawniło nanokrystaliczne fazy tlenku żelaza i grafitu w zimowej próbce PM_{2.5} z 2013 roku. Porównanie obu okresów pomiarowych umożliwia ocenę zmian właściwości fizykochemicznych PM_{2.5} w skali wieloletniej.



Rysunek 1. Obraz TEM w jasnym polu (a) i HAADF (b) cząstek PM_{2.5} z próbki 24.01.2013 r. Obrazy HAADF obejmują zaznaczone obszary wybrane do analizy EDS.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków programu „Inicjatywa doskonałości – uniwersytet badawczy” oraz z subwencji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego nr 16.16.220.842.

Elektrochemiczne osadzanie lantanu z roztworów wodnych pod kątem otrzymywania tarcz akceleratorowych

Mikołaj Jagieniak^{1*}, Michał Grdeń^{1,2}

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, Pasteura 1, Warszawa 02-093

²Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych, Uniwersytet Warszawski, Żwirki i Wigury 101, Warszawa 02-089

*E-mail: m Jagieniak280503@gmail.com

Słowa kluczowe: elektrodepozycja, tarcze akceleratorowe, lantan, lantanowce, radiofarmaceutyki

Lantanowce są szczególną grupą pierwiastków, które to charakteryzują się bardzo zbliżonymi właściwościami oraz charakterem chemicznym. Ich radioizotopy, takie jak La-135, Sm-153, Tb-149, Tm-165, znalazły zastosowanie w medycynie nuklearnej [1]. Radioizotopy te produkowane są w akceleratorach, a jedną z technik otrzymywania tarcz akceleratorowych jest elektrodepozycja. Jej przewagą nad innymi technikami, takimi jak walcowanie czy napylanie, jest możliwość bardzo precyzyjnej kontroli grubości osadzonej warstwy poprzez powiązanie ładunku, jaki przepłynął przez układ, z masą osadzonego metalu [2]. Ze względu na bardzo niskie potencjały standardowe lantanowców, najczęściej ich tarcze akceleratorowe otrzymywane na drodze elektrodepozycji przygotowywane są w układach organicznych bądź z cieczami jonowymi [3].

Celem niniejszej pracy była próba otrzymania warstw zawierających lantan na drodze elektrodepozycji z roztworów wodnych. W związku ze zbliżoną chemią lantanowców, można przyjąć, że lantan może być traktowany jako wiarygodny reprezentant tej grupy pierwiastków. Aby zmniejszyć wpływ wytrącania się lantanu w postaci nierozpuszczalnego osadu $\text{La}(\text{OH})_3$ wskutek wzrostu pH przy katodzie w wyniku elektrolizy wody, zastosowano różne czynniki kompleksujące jony La^{3+} . Analizie poddano wpływ składu kąpeli do osadzania (stężenie La^{3+} oraz różnych czynników kompleksujących pH), a także wpływ parametrów osadzania (potencjał, gęstość prądu) i rodzaju podłoża. Do analizy uzyskanych osadów wykorzystano m.in. widma XRF, XPS oraz zdjęcia SEM. Stwierdzono, że zastosowanie czynników kompleksujących pozwala znacznie, choć niecałkowicie, ograniczyć wytrącanie się wodorotlenku lantanu i umożliwia uzyskanie osadów zawierających lantan, co zostało wykazane analizami XRF i XPS. Stwierdzono, że układem, w którym otrzymano najwyższą zawartość lantanu w próbce jest układ z katodą złotą oraz roztworem zawierającym 0,18 M La oraz 0,24 M EDTA w warunkach pH = 5,3 oraz przy potencjale równym -4 V vs. Ag|AgCl. Osadzone w takim układzie warstwy są bardzo niejednorodne i wykazują złożone struktury, nie spełniając zatem kryteriów dla tarcz akceleratorowych, jednakże zastosowane w badaniach podejście sugeruje możliwość uzyskania osadów o znacznie lepszej jakości przy zastosowaniu m.in. odpowiednich związków kompleksujących.

Podziękowania

Autorzy dziękują dr. hab. Adamowi Lewerze (CNBCh, UW), prof. ucz. oraz dr. Maciejowi Gorkowskiemu (CNBCh, UW) za wykonanie pomiarów XPS.

Bibliografia

- [1] Radzina, M., et al. (2023). „Novel radionuclides for use in Nuclear Medicine in Europe: where do we stand and where do we go?”. *EJNMMI Radiopharmacy and Chemistry*, 8(1), 27
- [2] Stolarz, A. (2019). „Target preparation for research with charged projectiles”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299(2), 913-931
- [3] Rudnev, A.V. (2020). „Electrodeposition of lanthanides from ionic liquids and deep eutectic solvents”. *Russ. Chem. Rev.*, 89(12), 1463-1482

Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego – SOLARIS - unikatowa placówka w Europie Środkowo-Wschodniej

Magdalena B. Jaglarz^{1*}, Katarzyna Wichucka¹, Dominik Raś¹

¹Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

*E-mail: magdalena.jaglarz@uj.edu.pl

Słowa kluczowe: synchrotron, akcelerator liniowy, akcelerator kołowy, dozymetria, ochrona radiologiczna

Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego (NCPS) SOLARIS działa nieprzerwanie od 2015 roku jako jednostka badawcza Uniwersytetu Jagiellońskiego. Jest pierwszym w Polsce i dotychczas jedynym w Europie Środkowo-Wschodniej ośrodkiem oferującym możliwość wykonywania badań z użyciem promieniowania synchrotronowego.

W NCPS SOLARIS znajdują się dwa akceleratory; liniowy oraz kołowy. Akcelerator liniowy (LINAC) przyspiesza wiązkę elektronową, która jest następnie wstrzykiwana do pierścienia akumulacyjnego synchrotronu (akceleratora kołowego- RING). Zakrzywienie toru elektronów w polu magnetycznym (magnesach lub undulatorach), generuje intensywne i szerokopasmowe promieniowanie synchrotronowe, od podczerwieni do promieniowania rentgenowskiego, które kierowane jest następnie na linie badawcze. Podstawowym celem działania ośrodka jest udostępnianie infrastruktury badawczej krajowemu i zagranicznemu środowisku naukowemu.

Z punktu widzenia ochrony radiologicznej kluczowym wyzwaniem jest ochrona przed promieniowaniem jonizującym. Jednym z jego źródeł jest samo promieniowanie synchrotronowe, które wyprowadzane jest na linie badawcze i wykorzystywane w badaniach naukowych. Kolejnym źródłem jest promieniowanie wtórne i rozproszone, powstające w wyniku interakcji wiązki elektronów z elementami maszyny. W wyniku tych procesów może dochodzić do aktywacji materiałów i tworzenia się głównie krótkożytych radioizotopów. W obrębie jednostki środowisko pracy kontrolowane jest z wykorzystaniem termoluminescencyjnych dozymetrów pasywnych (TLD) oraz stacji promieniowania jonizującego (RMS) [1]. Poziomy promieniowania jonizującego są na bieżąco monitorowane przez 12 stacji promieniowania RMS, które wyposażone są w komory jonizacyjne i rozmieszczone w różnych częściach pracowni akceleratorowej. Wybrane stacje są zintegrowane z systemem ochrony ludzi (PSS - Personal Safety System) [2]. System ten kontroluje również dostęp do stref akceleratora, takich jak tunel LINACa czy RINGu, które podczas pracy synchrotronu są niedostępne dla personelu.

Podziękowania

NCPS SOLARIS jest rozwijany w ramach realizacji projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Wsparcie badań i rozwoju z wykorzystaniem infrastruktury badawczej Narodowego Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS” na podstawie umowy nr 1/SOL/2021/2.

Bibliografia

- [1] Jaglarz, M.B., Wikłacz, J., Wawrzyniak, A.I. (2019). "Radiation safety at Solaris 1.5 GeV storage ring". IPAC, Melbourne, Australia, JACoW Publishing, doi:10.18429/JACoW-IPAC2019-THPRB059
- [2] Jaglarz, M.B., Michoń, D., Zdrodowska- Pawluś, B., Wawrzyniak, K., Augustyn, M., Wawrzyniak A.I. (2023). „Radiation Protection and Personal Safety System at SOLARIS National Synchrotron Radiation Centre”. Radsynch23, 11th International on Radiation Safety at Synchrotron Sources, ESRF-Grenoble-France

Powierzchniowa i masowa ekshalacja Rn-222 z konkrecji polimetalicznych: dane eksperymentalne i analiza mechanizmów uwalniania

Daniel Janecki^{1*}, Agnieszka Dołhańczuk-Śródka¹, Andrzej Kłos¹, Zbigniew Ziembik¹, Artur Skowronek², Agnieszka Strzelecka², Kamila Mianowicz³, Tomasz Abramowski^{3,4}

¹Uniwersytet Opolski, Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Opole

²Uniwersytet Szczeciński, Instytut Nauk o Morzu i Środowisku, Szczecin

³Interoceanmetal Joint Organization, Szczecin

⁴Politechnika Morska w Szczecinie, Katedra Oceanotechniki i Budowy Okrętów, Szczecin

*E-mail: zecjan@uni.opole.pl

Słowa kluczowe: radon, strefa Clarion-Clipperton, NORM, konkrecje polimetaliczne

Emisja radonu (Rn-222) z naturalnie występujących materiałów promieniotwórczych (NORM) jest kluczowym procesem kontroli narażenia radiologicznego w środowiskach, w których takie materiały są eksploatowane. Konkrecje polimetaliczne ze złóż głębinowych, szczególnie ze strefy Clarion-Clipperton, zawierają podwyższone stężenia Ra-226 i mogą stanowić źródło radonu.

Celem niniejszego badania było ilościowe określenie szybkości ekshalacji Rn-222 z konkrecji polimetalicznych oraz identyfikacja głównych czynników kontrolujących uwalnianie radonu. Pomiary przeprowadzono za pomocą detektora AlphaGUARD DF2000 w przepływowym systemie akumulacyjnym, zgodnie z metodą zgodną z normą EN ISO 11665-7 [1]. Analizie poddano zarówno nienaruszone konkrecje, jak i materiał sproszkowany w celu oceny wpływu geometrii i powierzchni właściwej na zachowanie się procesu ekshalacji. Uzyskane wyniki wskazują na znaczną zmienność wydychania Rn-222 między próbkami, przy czym powierzchniowe szybkości wydychania wahały się w granicach 10^{-3} - 10^{-2} Bq·m⁻²·s⁻¹. Najwyższe zarejestrowane wartości sięgały około $3,3 \times 10^{-2}$ Bq·m⁻²·s⁻¹. Wbrew oczekiwaniom opartym wyłącznie na powierzchni, wyższe szybkości wydychania zaobserwowano dla nienaruszonych konkrecji niż dla materiału sproszkowanego. Efekt ten przypisuje się wysoce porowatej strukturze wewnętrznej konkrecji, która sprzyja efektywnej migracji radonu przez połączone sieci porów i mikropęknięcia.

Ponadto, przeanalizowano znormalizowane masowo szybkości wydychania i współczynniki emanacji radonu, aby odróżnić mechanizmy kontrolowane przez produkcję od mechanizmów kontrolowanych przez transport. Wyniki pokazują, że uwalnianie radonu zależy nie tylko od zawartości Ra-226, ale również od właściwości mikrostrukturalnych, takich jak porowatość, łączność porów i rozkład radionuklidów przypowierzchniowo.

Przedstawione badanie dostarcza nowych danych eksperymentalnych dotyczących wydychania Rn-222 z konkrecji polimetalicznych i przyczynia się do lepszego zrozumienia procesu generowania i transportu radonu w porowatych materiałach NORM.

Podziękowania

„Niniejsza praca została zrealizowana w MCBR UO (Międzynarodowym Centrum Badawczo-Rozwojowym UO) powstałym w ramach projektu współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego RPO WO 2014-2020 Działanie 1.2 Infrastruktura B+R. Umowa nr RPOP.01.02.00-16-0001/17-00 z dnia 31.01.2018 r.”

Bibliografia

[1] International Organization for Standardization (ISO). (2015). EN ISO 11665-7:2015. Measurement of radioactivity in the environment – Air: radon-222 – Part 7: Accumulation method for estimating surface exhalation rate. ISO, Geneva

Oznaczanie izotopów radu w wodach naturalnych o niskich aktywnościach i wysokiej konkurencji jonowej

Filip Jedrzejek^{1*}

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Energetyki Jądrowej i Radiochemii, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*E-mail: jedrzejek@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: izotopy radu, spektrometria gamma, wymiana jonowa

Izotopy radu z powodzeniem stosowane są do śledzenia naturalnych procesów środowiska wodnego. Znajdują zastosowanie między innymi do analizy mieszania się wód oraz śledzenia charakterystyki dopływów, w szczególności na wybrzeżach i w oceanach [1].

Oznaczanie izotopu ²²⁶Ra lub ²²⁸Ra w próbkach środowiskowych stanowi jednak wyzwanie ze względu na niskie stężenia tych izotopów. W wodach rzecznych i jeziorach stężenie promieniotwórcze ²²⁶Ra oraz ²²⁸Ra zwykle nie przekracza 20 mBq·dm⁻³, gdy w wodach morskich jest poniżej 1 mBq·dm⁻³ [2]. W praktyce wymaga to stosowania złożonych procedur analitycznych, ze szczególną kontrolą wydajności chemicznej.

W niniejszej pracy przedstawiono alternatywną metodę, selektywną wobec izotopów radu. Podstawą oznaczenia jest wykorzystanie sorpcji dynamicznej na kolumnie ze złożem żywicy jonowymiennej, które po wysuszeniu poddawane jest analizie z użyciem spektrometrii promieniowania gamma. Wykorzystywano złożo żywicy Wofatit KPS, będące syntetycznym kationitem o usieciowanej strukturze polimerowej, zawierającym grupy sulfonowe. Prezentowane doświadczenia dotyczyły niektórych parametrów walidacyjnych metody oraz selektywności w warunkach próbek środowiskowych.

Badania wykonane na podstawie przygotowanych wód ze znanym stężeniem izotopu ²²⁶Ra oraz zmiennym pH analitu, pokazały stabilny przebieg sorpcji w zakresie pH od 2 do 4, gdzie odzysk izotopu wynosił 100,07 ± 0,55%. Analogiczne doświadczenia wykonano z użyciem wody morskiej, na analicie będącym odpowiednikiem 200 litrów wody z Oceanu Atlantyckiego. Średni współczynnik odzysku w tym przypadku wynosił 88,5% ± 2,1%, co pokazuje wysoką selektywność proponowanej metody. Biorąc pod uwagę zasolenie i pojemność sorpcyjną, ²²⁶Ra był akumulowany na żywicy nawet w warunkach całkowitego wysycenia jonami Na⁺.

Uzyskane wyniki wskazują, że opracowana metoda stanowi skuteczne narzędzie analityczne do oznaczania niskich aktywności izotopów radu w wodach naturalnych, charakteryzujące się wysoką precyzją, powtarzalnością oraz odpornością na obecność jonów konkurencyjnych, w tym wysokie zasolenie. Tak wysoka selektywność skutkuje praktycznie nieograniczonym limitem detekcji, który może być dostosowany względem dobranej objętości analitu. Z powodzeniem metoda może być stosowana do oznaczenia zarówno izotopu ²²⁶Ra oraz ²²⁸Ra.

Podziękowania

„Praca została sfinansowana ze środków AGH: subwencja badawcza nr 501.00-210000-10000”

Bibliografia

- [1] Molina-Porras, A., Condomines, M., Legeay, PL., et al. (2020). "Radium Isotopes as a Tracer of Water Sources and Mixing in the Vidourle Stream (South of France)". *Aquat Geochem* 26, 119–136
[2] Carvalho, F., Fernando, D., Fernandes, S., et.al. (2014). "The Environmental Behaviour of Radium: Revised edition". IAEA Technical Reports Series No 476

Wpływ modyfikacji geometrii kształtu detektora TL typu MCP-N na dokładność pomiaru dawki w medycynie nuklearnej

Maja Karczmarczyk¹, Maciej Budzanowski², Joanna Dudała¹, Dominika Wierzba³, Aleksandra Jung^{1*}

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

²Instytut Fizyki Jądrowej im. H. Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

³Szpital Specjalistyczny im. L. Rydygiera w Krakowie, Zakład Medycyny Nuklearnej VOXEL, Kraków

*E-mail: aleksandra.jung@fis.agh.edu.pl

Słowa kluczowe: detektor termoluminescencyjny (TLD), geometria kształtu detektora, medycyna nuklearna, odpowiedź kąтова

W medycynie nuklearnej istotnym zagadnieniem jest precyzyjne oszacowanie dawek promieniowania jonizującego zarówno dla pacjentów, jak i personelu medycznego oraz środowiska pracy. Szczególnego znaczenia nabiera kontrola narażenia w pomieszczeniach, w których stosowane są radiofarmaceutyki. Do oceny dawki środowiskowej wykorzystuje się detektory termoluminescencyjne (TL), których czułość zależy od charakterystyki kątowej, tj. zależności odpowiedzi detektora od kąta padania promieniowania. Parametr ten wpływa bezpośrednio na niepewność pomiarową [1,2]. Jednym ze sposobów jej ograniczenia jest modyfikacja geometrii detektora [3].

Celem pracy była ocena wpływu geometrii detektora TL typu MCP-N (LiF:Mg,Cu,P) na jego odpowiedź dozymetryczną w warunkach rzeczywistej ekspozycji. Pomiary przeprowadzono dla detektorów o różnych kształtach: standardowym, wypukłym, wklęsłym oraz standardowym z trzema wywierconymi otworami (*3-hole*). Badania wykonano w wybranych pomieszczeniach Zakładu Medycyny Nuklearnej, charakteryzujących się zróżnicowanym rozkładem pola promieniowania, w tym w pracowni przygotowania radiofarmaceutyków, pomieszczeniach ich przechowywania i podawania oraz w poczekalniach dla pacjentów po aplikacji radiofarmaceutyków. Dodatkowe pomiary przeprowadzono w pracowniach SPECT (Single Photon Emission Computed Tomography) i PET (Positron Emission Tomography), gdzie występuje promieniowanie o wysokiej przenikliwości. W tych pomieszczeniach analizowano, czy modyfikacje geometrii detektora zapewniają prawidłową odpowiedź dozymetryczną również w warunkach ekspozycji na promieniowanie rozproszone. Odczyt dawki przeprowadzono zgodnie ze standardowym protokołem obejmującym anilację w 100°C przez 10 min oraz krzywą grzania do 240°C z szybkością 2°C/s przy użyciu czytnika LexySmart.

Wstępne wyniki wskazują, że dla detektorów typu *3-hole* uzyskano wyższe wartości wskazań (ok. 10%) w pomieszczeniach, w których radiofarmaceutyki podawane są pacjentom, oraz w poczekalni po ich aplikacji. W pomieszczeniach z promieniowaniem o wysokiej przenikliwości różnice w czułościach między detektorami o zmodyfikowanych kształtach są niewielkie, jak można się było spodziewać. Zastosowanie detektorów o zmodyfikowanej geometrii pozwala na dokładniejszą ocenę narażenia środowiskowego w przypadku znaczącego udziału promieniowania rozproszonego.

Bibliografia

- [1] Avila, O., Torres-Ulloa, C.L., Medina, L.A., Trujillo-Zamudio, F.E., Gamboa-deBuen, I., Buenfil, A.E., Brandan, M.E. (2011). „TL measurement of ambient dose at a Nuclear Medicine Department”. *Radiation Measurements*, Vol. 46, 1843-6
- [2] Alanzi, S.F., Alarifi, H., Alsheri, A., Almurayshid, M. (2023). “Response evaluation of two commercial thermoluminescence dosimeters (TLDs) against different parameters”. *BJR Open* 5 (1)
- [3] Budzanowski, M., Jung, A., Karczmarczyk, M. (2024). „Special MCP-N thermoluminescent detectors (TLD) with better angular dependence”. *Radiation Measurements*, Vol. 177

Wykorzystanie metody optycznie stymulowanej luminescencji elementów biżuterii w dozymetrii retrospektywnej

Dagmara Kulig¹, Laura Maniara¹, Aleksandra Jung^{1*}

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

*E-mail: aleksandra.jung@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: dozymetria retrospektywna, OSL, kamienie szlachetne

Dozymetria retrospektywna stanowi szczególny dział dozymetrii promieniowania jonizującego, którego celem jest oszacowanie dawki pochłoniętej w przeszłości w sytuacjach, gdy w czasie ekspozycji nie zastosowano standardowych detektorów. Metody stosowane w tej dziedzinie opierają się często na zjawiskach luminescencyjnych występujących w materiałach zdolnych do magazynowania energii promieniowania w postaci uwięzionych nośników ładunku w pułapkach energetycznych związanych z defektami struktury krystalicznej. Odczyt informacji o dawce odbywa się poprzez stymulację termiczną lub optyczną. Ze względu na brak konieczności podgrzewania próbki, możliwość wielokrotnego odczytu oraz większą kontrolę procesu stymulacji, metoda optycznie stymulowanej luminescencji (OSL) jest szczególnie atrakcyjna w zastosowaniach retrospektywnych. Coraz większą uwagę poświęca się materiałom powszechnie dostępnym w otoczeniu człowieka, takim jak banknoty, leki czy szkło telefonów komórkowych [1-3]. Kolejnym przykładem są kamienie szlachetne jako elementy biżuterii, które dzięki swojej strukturze krystalicznej oraz obecności defektów mogą pełnić funkcję pasywnych detektorów promieniowania.

W oparciu o tę koncepcję przeprowadzono badania właściwości dozymetrycznych 39 różnych kamieni szlachetnych. Scharakteryzowano ich parametry dozymetryczne, w tym powtarzalność, liniowość odpowiedzi dawka-sygnał oraz zanik sygnału w czasie [4], wykorzystując metodę OSL. Próbki napromieniano promieniowaniem beta ze źródła ⁹⁰Sr/⁹⁰Y w zakresie dawek 0,5–10 Gy, a pomiary wykonywano przy użyciu czytnika z ciągłą stymulacją LED (*Iexygresearch*, Freiberg Instruments).

Spśród badanych kamieni, agat, kamień słoneczny oraz lapis lazuli wykazały najlepsze dwie z trzech analizowanych cech — liniową zależność sygnału od dawki ($R^2 > 0,99$) oraz dobrą powtarzalność pomiarów (odchylenia rzędu kilku procent). Agat z Botswany, labradoryt oraz rodonit charakteryzowały się natomiast umiarkowanym zanikiem sygnału OSL w czasie. Na szczególną uwagę zasługują ametyst, fluoryt ciemny oraz fluoryt jasny, które wykazały jednocześnie liniową odpowiedź w badanym zakresie dawek, dobrą powtarzalność (kilka procent) oraz niewielki zanik sygnału w czasie.

Uzyskane wyniki wskazują, że elementy biżuterii zawierające kamienie jubilerskie mogą pełnić funkcję łatwo dostępnych, pasywnych nośników informacji o ekspozycji radiacyjnej, potencjalnie użytecznych w analizie zdarzeń radiacyjnych oraz w przypadkach niekontrolowanego narażenia.

Bibliografia

[1] Mrozik, A., Kulig, D., Marczevska, B., Bilski, P. (2017). „Dose estimation based on OSL signal from banknotes in accident dosimetry”. *Radiation Measurements*, 101, 1-6

[2] Mrozik, A., Bilski, P. (2021). “Popular medicines as radiation sensors”. *IEEE Sensors Journal*, 21 (15), 16637–16643

[3] Łepkowska, J., Jung, A. (2024). “Retrospective dose assessment without prior removal of the intrinsic background signal of the mobile phone screen glass”. *Radiation Measurements*, 176, 107203

[4] Łepkowska, J., Jung, A. (2022). “Influence of readout conditions on the thermoluminescence properties of mobile phone display glass for retrospective dosimetry”. *Measurement*, 204, 112083

Zmiany czasowe stężeń radionuklidów Sr-90 i Cs-137 w diecie mieszkańców czterech polskich miast

Małgorzata Kazimierowicz^{1*}, Małgorzata Kardaś¹, Krzysztof Pachocki¹

¹Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

*E-mail: m.kazimierowicz@clor.waw.pl

Słowa kluczowe: Sr-90, Cs-137, radionuklidy w żywności

Antropogeniczne radionuklidy, takie jak będące przedmiotem niniejszej pracy Sr-90 oraz Cs-137, nie występują naturalnie w środowisku, ponieważ brak jest procesów przyrodniczych zdolnych do ich wytwarzania. Głównym źródłem tych radionuklidów w środowisku europejskim jest opad promieniotwórczy powstały w wyniku katastrofy w elektrowni jądrowej w Czarnobylu w 1986 roku. Ponieważ Polska znalazła się wśród krajów objętych tym opadem, stężenia Sr-90 i Cs-137 w żywności oraz w dietach całkowitych mieszkańców są monitorowane niemal corocznie.

W latach 2006–2024 badania stężeń Sr-90 i Cs-137 w produktach żywnościowych prowadzono w wielu polskich miastach liczących ponad 100 tys. mieszkańców. W niniejszej pracy do porównania długoterminowych trendów zmian stężeń tych radionuklidów w dietach mieszkańców oraz rocznych dawek skutecznych otrzymywanych przez ludność w wyniku ich spożycia wybrano cztery miasta: Gdańsk, Gorzów Wielkopolski, Toruń oraz Lublin.

W Gdańsku łączna roczna dawka skuteczna od Sr-90 i Cs-137 wynosiła 2,5 μSv w 2013 r., a w 2022 r. zmniejszyła się do 1,2 μSv . W Gorzowie Wielkopolskim wartości te wynosiły odpowiednio 3,1 μSv w 2007 r. oraz 0,58 μSv w 2024 r. W Toruniu roczna dawka skuteczna spadła z 3,0 μSv w 2006 r. do 1,2 μSv w 2024 r., natomiast w Lublinie odnotowano dawki 2,4 μSv w 2007 r. oraz 1,22 μSv w 2023 r. Uzyskane wyniki wskazują na długoterminową tendencję spadkową w narażeniu ludności na te radionuklidy drogą pokarmową.

Podziękowania

Przedmiotowe badania zostały sfinansowane przez Państwową Agencję Atomistyki w ramach umów 24/OR/2006 z dnia 08.09.2006 r.; 22/OR/2007 z dnia 11.04.2007 r.; 12/OR/2013/108 z dnia 17.03.2013 r.; 59/2021/CEZAR/153 z dnia 13.10.2021 r.; 309/2023/CEZAR z dnia 31.10.2023 r.; 174/2024/CEZAR z dnia 25.07.2024 r.

Prezentacja oferty firmy Canberra Packard Sp. z o.o.

Dariusz Kołata, Prezes

Canberra Packard Sp. z o.o., 02-954 warszawa, ul. Królowej Marysieńki 24
E-mail: d.kolata@cpce.net

Firma Canberra Packard Sp. z o.o. jest w Polsce reprezentantem handlowym i serwisowym wiodących światowych producentów aparatury i systemów do pomiarów, kontroli, monitoringu oraz zapewnienia bezpieczeństwa radiologicznego we wszelkich instalacjach w których występuje promieniowanie jonizujące i narażenie radiologiczne środowiska, pracowników lub pacjentów. Systemy firm MIRION Technologis (Canberra, MGP, MGPIH&B, Biodex, Capintec) oraz Berthold Technologies, PTW Freiburg, Tema Sinergie, Kromek, oraz automatyczne liczniki scyntylacyjne alfa/beta/gamma firmy REVVITY (PerkinElmer) wykorzystywane są w instalacjach jądrowych, instytutach naukowo badawczych, zakładach produkcji radiofarmaceutyków, centrach onkologii, zakładach medycyny nuklearnej, laboratoriach pomiarów środowiskowych, służbach mundurowych.

MIRION (Canberra) to światowy lider w produkcji spektrometrów promieniowania jonizującego, kompleksowych systemów monitoringu radiologicznego środowiska, obiektów jądrowych, oceny i selekcji odpadów radioaktywnych, przyrządów i detektorów promieniowania alfa, beta, gamma, neutronowego.

Berthold Technologies to uznany producent detektorów neutronowych, systemów radiomonitoringu w instalacjach badawczych, bramek ręce-nogi i przyrządów do kontroli skażeń.

PTW Freiburg to bardzo ceniony producent systemów i detektorów, aparatów i fantomów wykorzystywanych przez fizyków medycznych do planowania i kontroli jakości w radioterapii oraz rentgenodiagnostyce.

Tema Synergie to szeroko obecny na polskim rynku dostawca zaawansowanych komór gorących do produkcji i dystrybucji radiofarmaceutyków (PET), manualnych i automatycznych dyspenserów radiofarmaceutyków.

Dział automatycznych liczników ciskłoscyntylacyjnych alfa/beta i automatycznych liczników gamma firmy REVVITY (PerkinElmer) to światowy lider w produkcji unikalnych, super-niskotłowych aparatów do badań środowiskowych (Quantulus GCT, TriCarb) oraz urządzeń badawczych i diagnostycznych w medycynie nuklearnej (seria liczników Wizard).

Capintec i Biodex to dostawca z USA szerokiej gamy urządzeń wykorzystywanych w medycynie nuklearnej. Kromek – to niezwykle dynamicznie rozwijająca się firma z Wielkiej Brytanii, producent między innymi nowatorskich spektrometrów przenośnych dla zastosowań CBRN.



Radiochemia w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej

Przemysław Koźmiński*, Irena Herdzik-Koniecko, Dagmara Chmielewska-Śmietanko, Agnieszka Miśkiewicz, Ewelina Chajduk, Tomasz Smoliński

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

*E-mail: p.kozminski@ichtj.waw.pl

Słowa kluczowe: paliwo jądrowe, odpady promieniotwórcze, monitoring radiacyjny, radiofarmaceutyki

Badania z zakresu radiochemii prowadzone w Instytucie Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) mają ponad sześćdziesięcioletnią tradycję i stanowią istotny element rozwoju chemii jądrowej oraz technologii izotopowych w Polsce. Obecnie działalność badawcza instytutu wpisuje się w realizację Programu Polskiej Energetyki Jądrowej (PPEJ), obejmując zadania wspierające rozwój krajowej energetyki jądrowej oraz przygotowania do budowy pierwszej wielkoskalowej elektrowni jądrowej w Polsce.

Jednym z kluczowych obszarów badań prowadzonych w ICHTJ są zagadnienia związane z gospodarką wypalonym paliwem jądrowym oraz postępowaniem z odpadami promieniotwórczymi. Prace badawcze i wdrożeniowe w zakresie zagospodarowania odpadów poprowadzone w Centrum Radiochemii i Chemii Jądrowej obejmują wszystkie etapy tego procesu: od separacji radionuklidów i zmniejszanie objętości odpadów, poprzez opracowanie matryc do ich immobilizacji, aż po aspekty związane z ich bezpiecznym składowaniem. W Laboratorium Badań Materiałowych prowadzone są prace nad opracowaniem i charakterystyką nowych sorbentów na bazie krzemionki przeznaczonych do usuwania radionuklidów z wody chłodzącej obiegu pierwotnego reaktora jądrowego, w szczególności izotopów cezu i kobaltu. Badania te obejmują analizę mechanizmów sorpcji oraz ocenę odporności radiacyjnej sorbentów organicznych stosowanych w procesach oczyszczania cieczy technologicznych.

Istotny kierunek badań stanowią również zastosowania radioznaczników oraz metod radiometrycznych w inżynierii procesowej i diagnostyce instalacji przemysłowych. W Pracowni Jądrowych Metod Inżynierii Procesowej oraz Pracowni Metod Diagnostycznych prowadzone są badania nad wykorzystaniem radioznaczników do optymalizacji procesów hydrometalurgicznych związanych z odzyskiem metali krytycznych z surowców wtórnych i odpadów poflotacyjnych. Rozwijane są także metody umożliwiające ocenę szczelności instalacji technologicznych z wykorzystaniem radioizotopów, takich jak Kr-85 czy Br-82.

Znaczącą rolę w działalności instytutu odgrywa Laboratorium Jądrowych Techniki Analitycznych, dysponujące nowoczesną aparaturą umożliwiającą oznaczanie pierwiastków i radionuklidów w bardzo szerokim zakresie stężeń z wysoką precyzją i dokładnością. Komplementarne wykorzystanie technik radiometrycznych oraz spektrometrii mas pozwala na prowadzenie kompleksowych analiz materiałów przemysłowych, środowiskowych oraz próbek żywności.

Ważnym obszarem działalności ICHTJ są także badania nad radiofarmaceutykami. Prace prowadzone w Pracowni Chemii Radiofarmaceutycznej obejmują projektowanie, syntezę i znakowanie biologicznie czynnych cząsteczek izotopami promieniotwórczymi w celu opracowania nowych radiofarmaceutyków do diagnostyki i terapii celowanej, głównie w onkologii. Wśród osiągnięć należy wymienić opracowanie antybiotyków znakowanych ^{99m}Tc i ^{68}Ga do obrazowania stanów zapalnych u pacjentów ze stopą cukrzycową oraz prowadzone badania kliniczne nad radiobiokoniugatami $[\text{}^{225}\text{Ac}]\text{Ac-DOTATATE}$ i $[\text{}^{225}\text{Ac}]\text{Ac-PSMA}$ o dużym potencjale terapeutycznym.

Uzyskiwane wyniki badań prowadzonych w ICHTJ stanowią istotne wsparcie dla krajowego programu energetyki jądrowej oraz umożliwiają aktywny udział Instytutu w licznych projektach realizowanych w ramach krajowych i międzynarodowych konsorcjów badawczych.

Pomiary obywatelskie jako uzupełniająca strategia monitorowania poziomu promieniowania jonizującego w zagrożeniach spowodowanych konfliktami zbrojnymi lub klęskami żywiołowymi – projekt CITISTRA w Polsce

Mateusz Krzysiek^{1*}, Renata Kierepko¹, Anna Mrozik¹, Paweł Olko¹, Agnieszka Szumska¹

¹Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

*E-mail: mateusz.krzysiek@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: CITISTRA, CzechRad, pomiary obywatelskie, promieniowanie jonizujące

CITISTRA (Citizen measurements as complementary radiation monitoring strategy in threats due to armed conflict or natural disasters) jest projektem, którego głównym celem jest sprawdzenie potencjału pomiarów obywatelskich jako uzupełnienie dla już istniejących systemów monitorowania poziomu promieniowania jonizującego w środowisku, szczególnie w sytuacjach kryzysowych takich jak konflikty zbrojne czy awarie jądrowe. Projekt jest realizowany w trzech krajach: Polsce, Czechach i na Słowacji. Polska, ze względu na swoje położenie geograficzne (długość granicy z Ukrainą), a także planowaną budowę pierwszej elektrowni jądrowej na swoim terytorium, stanowi niezwykle ważny element utworzonego konsorcjum.

W ramach projektu detektory promieniowania jonizującego CzechRad, zaprojektowane i wyprodukowane w Czechach (National Radiation Protection Institute - SÚRO), zostały przekazane wybranym grupom zawodowym cieszącym się zaufaniem społecznym. Detektory są wyposażone w moduł GPS co pozwala na rejestrowanie miejsca pomiaru mocy dawki promieniowania jonizujące, a następnie nanoszenie wyników na mapy. 200 detektorów trafiło do Polski i zostało rozdystrybuowane wśród jednostek Państwowej Straży Pożarnej i Ochotniczej Straży Pożarnej (PSP i OSP), Wojsk Obrony Terytorialnej (WOT), Stacji Sanitarno-Epidemiologicznych, Urzędów Gmin graniczących z Ukrainą i Białorusią oraz Nadleśnictw. Użytkownicy detektorów przeszli szkolenie w zakresie sposobów wykrywania promieniowania jonizującego, ochrony radiologicznej oraz procedury pomiarowej wraz z przesyłaniem danych do Instytutu Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk (IFJ PAN). Projekt realizowany jest w Polsce w pięciu województwach: śląskim, małopolskim, świętokrzyskim, podkarpackim i lubelskim, na terytorium ok. 84 000 km².

Oczekiwanyymi rezultatami dwunastomiesięcznej kampanii pomiarowej są: monitorowanie poziomu promieniowania jonizującego w środowisku z rozdzielczością przestrzenną lepszą niż jest to realizowane przez istniejące, stacjonarne sieci pomiarowe na terenie objętym projektem; wizualizacja pozyskanych danych pomiarowych na ogólnodostępnych i ogólnodostępnych mapach projektu SAFECAST; przygotowanie i wdrożenie kilkuset osób w proces pomiarów mocy dawki promieniowania jonizującego, których umiejętności mogą być użyte w sytuacjach kryzysowych; wypracowanie narzędzi, które sprawią, że podobne działania będą mogły być zastosowane na terenie objętym np. planami budowy elektrowni jądrowych.

Podziękowania

Niniejsze badania zostały wykonane w ramach partnerstwa PIANOFORTE z programu Euratom2027 na podstawie umowy o dofinansowanie nr 101061037 oraz współfinansowanego przez Ministerstwo Edukacji Narodowej i Nauki, w ramach programu „PMW”, umowa 6100/HE-EURATOM/2024/2025/2.

Materiał sorpcyjny na bazie mezoporowatej krzemionki SBA-15 do szybkiej remediacji wód skażonych radioizotopami strontu

Magdalena Laskowska^{1*}, Agnieszka Karczmarska¹, Arshiya Anees Ahmed¹, Tomasz M. Mróz¹, Bogdan Wąs¹, Jerzy W. Mielowski¹

¹Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

*E-mail: Magdalena.laskowska@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: adsorpcja, nanomateriały, uporządkowane mezoporowate krzemionki

Stront jest pierwiastkiem naturalnie obecnym w środowisku. Występuje powszechnie w skałach i glebach, a do wód gruntowych trafia głównie w wyniku wietrzenia oraz wymywania minerałów, dlatego jego obecność w wodach podziemnych jest zjawiskiem częstym [1]. W wodzie stront występuje przede wszystkim jako jon Sr^{2+} , a jego podobieństwo chemiczne do wapnia sprzyja pobieraniu przez organizmy żywe i odkładaniu w tkankach. W konsekwencji długotrwała ekspozycja na podwyższone stężenia może prowadzić do zaburzeń procesów mineralizacji – u ludzi i zwierząt głównie w obrębie układu kostnego, a u roślin m.in. poprzez zakłócenie gospodarki wapniowej i procesów wzrostu [2, 3]. Jeszcze większym zagrożeniem dla zdrowia ludzi i zwierząt jest obecność w środowisku długożyciowego radioizotopu Sr-90 o okresie półrozpadu bliskim 29 lat, którego źródłem są przede wszystkim atmosferyczne próby broni jądrowej oraz produkty rozszczepienia powstające w reaktorach jądrowych (zwłaszcza w przypadku awarii lub niewłaściwego postępowania z odpadami). Emisja cząstek β w szeregu rozpadu, w połączeniu ze zdolnością do kumulacji w tkankach, może prowadzić do uszkodzeń kości oraz krwiotwórczych tkanek szpiku kostnego [4]. Dlatego wysoce uzasadnione jest poszukiwanie materiałów umożliwiających szybkie, skuteczne i selektywne usuwanie jonów strontu z wody.

Rozwiązania oparte na funkcjonalizowanych nanostrukturach krzemionkowych są uznawane za szczególnie obiecujące, a badania trwają w celu wskazania takich modyfikacji powierzchni, które zapewnią możliwie najbardziej selektywną sorpcję strontu [5]. Niniejsza praca koncentruje się na opracowaniu i ocenie własności adsorbcyjnych krzemionki SBA-15 funkcjonalizowanej grupami propylowo-fosfonianowymi. Powodzenie modyfikacji powierzchni potwierdzono za pomocą spektroskopii dyspersji energii promieniowania rentgenowskiego (EDS) oraz spektroskopii Ramana. Eksperymenty adsorpcyjne przeprowadzono z użyciem wodnych roztworów zawierających stront, w których kinetykę adsorpcji oceniono radiometrycznie z użyciem Sr-85 jako znacznika. Otrzymane wyniki wskazują na duży potencjał badanego materiału jako wydajnego adsorbentu jonów strontu. Dodatkowo materiał ten może być wytwarzany w postaci proszku, pelletów lub cienkich warstw, co ułatwia dostosowanie go do różnych scenariuszy aplikacyjnych.

Bibliografia

- [1] Musgrove, M. (2021). „The occurrence and distribution of strontium in U.S. groundwater”. *Applied Geochemistry*, 126, 104867
- [2] Nielsen, S. P. (2004). „The biological role of strontium”. *Bone*, 35(3), 583–588
- [3] Omdahl, J. L., DeLuca, H. F. (1971). „Strontium induced rickets: metabolic basis”. *Science*, 174 (4012), 949–951
- [4] Zhou, Z., et.al. (2023). „Recent Development on Determination of Low-Level ^{90}Sr in Environmental and Biological Samples: A Review”. *Molecules*, 28(1), 90
- [5] Zhang, S., et.al. (2024). „Phosphination of amino-modified mesoporous silica for the selective separation of strontium”. *Journal of Hazardous Materials*, 467, 133741

Monitoring skażeń radioaktywnych w Arktyce

Edyta Łokas^{1*}

¹Institut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, Zakład Spektrometrii Mas, Kraków

*E-mail: Edyta.Lokas@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: skażenia radioaktywne, pluton, ameryk, Arktyka, spektrometria mas, spektrometria alfa

Izotopy promieniotwórcze są obecne w środowisku zarówno wskutek naturalnych procesów, jak i działalności człowieka. Głównymi źródłami sztucznych izotopów promieniotwórczych w Arktyce pozostają opady z atmosferycznych testów broni jądrowej w latach 50. i 60. XX wieku oraz daleki transport radionuklidów emitowanych przez europejskie zakłady przerobu paliwa jądrowego. Arktykę skaziły również w niewielkim stopniu radionuklidy (¹³⁷Cs) pochodzące z katastrof jądrowych w Czarnobylu oraz Fukushima. Istnieją jednak inne potencjalne źródła skażeń promieniotwórczych w Arktyce, takie jak zatopione okręty podwodne z napędem jądrowym, wykorzystanie nowych technologii jądrowych czy zrzuty odpadów radioaktywnych do morza.

Wiele krajów świata zainicjowało ambitne programy energetyki jądrowej lub zadeklarowało zamiar wytwarzania energii elektrycznej przy użyciu reaktorów jądrowych w niedalekiej przyszłości. Ocena wpływu tych programów na środowisko wymaga stałego monitorowania opadu radioaktywnego. Szczególną uwagę należy zwrócić na zastosowania materiałów jądrowych w misjach kosmicznych. Radioizotopowe generatory termoelektryczne (RTG) są kluczową technologią umożliwiającą eksplorację kosmosu.

Wpływ na rozprzestrzenianie się i akumulację skażeń promieniotwórczych w środowisku Arktyki mają zmiany klimatu i innych elementów globalnego środowiska. Zmniejszające się lodowce stają się coraz bardziej znaczącym wtórnym źródłem zanieczyszczeń promieniotwórczych uwalnianych do środowiska od połowy XX wieku. Radionuklidy należą do zanieczyszczeń przenoszonych drogą atmosferyczną, które gromadzą się w materiale kriokonitu – ciemnej mieszance materiału mineralnego i organicznego osadzonego na śniegu i lodzie – na powierzchni lodowców i mogą być ponownie mobilizowane poprzez topnienie lodu. Poziomy radioaktywności zmierzone w kriokonicie w Arktyce są wysokie i często są o rzędy wielkości wyższe niż w innych środowiskach lodowych.

Ponadto rozwój nowych metod badawczych służących do identyfikacji dominujących źródeł promieniotwórczości na podstawie stosunków izotopowych może stanowić cenną wiedzę dotyczącą badań promieniotwórczości w Arktyce. Szczegółowa analiza izotopów ¹³⁷Cs, uranu, plutonu i ²⁴¹Am w różnych matrycach, przyczynia się do identyfikacji źródła i odróżnienia radioizotopów pochodzących z redepozycji od świeżo uwolnionych.

W ciągu 20 lat pomiarów prowadzonych w Arktyce w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN zaobserwowano pewne anomalie izotopowe (²³⁸Pu/²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu, ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu), które mogą mieć związek zarówno z istniejącymi jak również ze współczesnymi niezidentyfikowanymi zdarzeniami. Podwyższone stosunki izotopowe ²³⁸Pu/²³⁹⁺²⁴⁰Pu (0,118) i ²⁴¹Am/²³⁹⁺²⁴⁰Pu (1,05) zaobserwowano w lodowcach Spitsbergenu. Natomiast wyniki badań prowadzone na Alasce sugerują wpływ opadu pochodzącego z testów w Nevadzie (0,09), charakteryzującego się średnim stosunkiem ²⁴⁰Pu/²³⁹Pu wynoszącym 0,03.

Biorąc pod uwagę wyniki badań prowadzone w Arktyce, stały monitoring sztucznych radionuklidów wydaje się konieczny. Wieloletnie badania prowadzone w lodowcach podkreślają ogromne znaczenie uwzględnienia alfa emiterów, takich jak Pu w rutynowych pomiarach w ramach programów kontroli sytuacji radiacyjnej.

Zastosowanie wybranych materiałów codziennego użytku w dozymetrii awaryjnej

Katarzyna Matusiak^{1*}, Anna Koster¹, Aleksandra Jung¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*E-mail: Katarzyna.Matusiak@fis.agh.edu.pl

Słowa kluczowe: dozymetria awaryjna, dozymetria retrospektywna, materiały opatrunkowe, termoluminescencja, optycznie stymulowana luminescencja

Do głównych zadań dozymetrii awaryjnej należy szybkie i wiarygodne oszacowanie dawek pochłoniętych przez osoby narażone, w wyniku niekontrolowanych zdarzeń radiacyjnych, takich jak awarie reaktorów jądrowych, incydenty medyczne czy wypadki przemysłowe. Jej podstawową rolą jest dostarczenie danych pozwalających na wstępne zaklasyfikowanie poszkodowanych do odpowiednich grup w procesie tzw. triażu oraz wsparcie decyzji medycznych dotyczących leczenia skutków oddziaływania promieniowania jonizującego [1]. W sytuacjach, gdy osoby poszkodowane nie posiadają indywidualnych dozymetrów, rekonstrukcja dawki opiera się na analizie sygnałów pochodzących z przedmiotów pozwalających na jej odtworzenie. Materiały przydatne w dozymetrii retrospektywnej powinny być powszechnie dostępne, znajdować się blisko ciała oraz wykazywać stabilny i powtarzalny sygnał termoluminescencyjny (TL), optycznie stymulowanej luminescencji (OSL) czy elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR) [2-4].

Celem pracy była ocena przydatności wybranych materiałów codziennego użytku, takich jak materiały opatrunkowe, plastry oraz tabletki antykoncepcyjne, do rekonstrukcji dawek promieniowania jonizującego z wykorzystaniem technik luminescencyjnych: TL i OSL. Pomiary wykonano przy użyciu czytnika TL RA'04 (Mikrolab, Polska) oraz czytnika OSL *lexsygresearch* (Freiberg Instruments, Niemcy). Próbkę poddano ekspozycji na promieniowanie X, gamma, neutronowe i beta w zakresie od 0,15 do 8 Gy, a następnie analizowano czułość, powtarzalność oraz zanik sygnału w czasie.

Technika TL okazała się nieprzydatna ze względu na niską stabilność termiczną materiałów i ich degradację podczas wygrzewania. Najlepsze wyniki uzyskano z wykorzystaniem OSL po ekspozycji na promieniowanie beta dla plastrów: papierowego i jedwabnego zrywanego oraz opatrunkowego ciętego. Najwyższą czułość i największą stabilność sygnału wykazał plaster opatrunkowy cięty, natomiast plastry zrywane charakteryzowały się większą zmiennością i niższą intensywnością sygnału. Plastry antykoncepcyjne nie wykazały istotnej odpowiedzi na dawkę. Po napromienianiu tabletek antykoncepcyjnych rejestrowano mierzalny sygnał luminescencyjny.

Uzyskane wyniki wskazują, że wybrane materiały opatrunkowe oraz tabletki antykoncepcyjne mogą stanowić potencjalne nośniki informacji o dawce w warunkach dozymetrii awaryjnej z zastosowaniem techniki OSL.

Bibliografia

- [1] IAEA. (2020). "Medical Management of Radiation Injuries". Safety Reports Series, 10, Vienna
- [2] Fattibene, P., Trompier, F., Bassinet, C., Ciesielski, B., Discher, M., Eakins, J., et al. (2023). "Reflections on the future developments of research in retrospective physical dosimetry". Phys. Open. Vol 14
- [3] Discher, M., Bortolin, E., Woda, C. (2016). "Investigations of touchscreen glasses from mobile phones for retrospective and accident dosimetry". Radiat Meas. Vol.89, 44-51
- [4] Mroziak, A., Marczevska, B., Bilski, P., Gieszczyk, W. (2014). "Investigation of OSL signal of resistors from mobile phones for accidental dosimetry". Radiat Meas. Vol. 71, 466-70

Wpływ temperatury kalcynacji na ługowanie uranu z produktów spalania węgla

Filip Jędrzejek^{1*}, Weronika Mendera¹, Katarzyna Szarłowicz¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

*E-mail: jedrzejek@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: kalcynacja, optymalizacja, uran, ługowanie, LSC

Rosnące zapotrzebowanie na surowce energetyczne sprawia, że coraz większą uwagę poświęca się ich odzyskowi z produktów odpadowych. Wartościowym produktem w tym zakresie mogą być popioły z elektrowni węglowych, będące odpadem powstającym ze spalania węgla, zawierają śladowe ilości uranu. Zawartość uranu w węglu, w zależności od jego pochodzenia geologicznego oraz rodzaju, wynosi zwykle od 2 do 30 ppm [1]. Jednak w popiołach lotnych, w wyniku koncentracji pierwiastka w procesie spalania, wartość może być od 2 do 10 razy większa [2].

Optymalizacja ekstrakcji uranu z produktów ubocznych spalania węgla stanowi istotny kierunek badań w kontekście zwiększenia efektywności wykorzystania zasobów w cyklu paliwowym energetyki jądrowej. Kluczem do komercyjnego wykorzystania tych zasobów jest w szczególności optymalizacja ekonomiczna. Dlatego w niniejszej pracy skupiono się na usprawnieniu procesu poprzez wstępną optymalizację temperatury kalcynacji próbek popiołu w piecu muflowym w zakresie od 500 do 900°C. Obróbka termiczna wpływa na właściwości materiału, w tym stopień rozkładu faz mineralnych oraz zmianę form występowania uranu, co przekłada się na jego podatność na ługowanie w dalszych etapach procesu. Jednocześnie dobór odpowiedniej temperatury kalcynacji ma istotne znaczenie z punktu widzenia zużycia energii, co bezpośrednio wpływa na efektywność ekonomiczną całego procesu.

Po etapie kalcynacji przeprowadzono ługowanie uranu z wykorzystaniem roztworów kwasu azotowego (V) w ściśle kontrolowanych warunkach. Kolejno oznaczano stężenia uranu w roztworach powstałych po ługowaniu, zgodnie z procedurą Eichrom ACW02 i przy wykorzystaniu pomiarów ciekłoscyntylicyjnych (LSC) [3].

Wyniki wskazują, że najwyższy stopień ekstrakcji uranu uzyskiwany jest dla temperatury kalcynacji rzędu 900°C. Jednocześnie analiza przebiegu procesu została poświęcona ocenie możliwości obniżenia temperatury kalcynacji przy zachowaniu zadowalającego stopnia ekstrakcji.

Przedstawione podejście stanowi podstawę do dalszej optymalizacji metod odzysku uranu z odpadów przemysłowych oraz rozwoju bardziej efektywnych procesów.

Podziękowania

„Praca została sfinansowana ze środków AGH: subwencja badawcza nr 501.00-210000-10000”

Bibliografia

- [1] Jędrzejek, F., Mendera, W., Szarłowicz, K., Heiss, N., Scherer, U. (2025). "From coal ash to the nuclear fuel cycle: A new method of uranium extraction with membranes". *Journal of Environmental Management*
- [2] Monnet, A., Percebois, J., Gabriel, S. (2015). „Assessing the potential production of uranium from coal-ash milling in the long term”. *Resources Policy*
- [3] Eichrom Technologies LLC. (2014). Uranium in Water. Analytical Procedure ACW02, Revision 1.4

Poszukiwanie długożyciowych „wymarłych” radionuklidów w materiale skalnym z kominów kimberlitowych

Jerzy W. Mietelski^{1*}

¹Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN w Krakowie

*E-mail: jerzy.mietelski@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: Sm-146, Pu-244, kominy kimberlitowe, barionowa ciemna materia, CUDO

Kominy kimberlitowe to najbardziej tajemnicze obiekty geologiczne istniejące na Ziemi. Są to miejsca, gdzie wydobywane są diamenty. Obecność diamentów wskazuje na bezpośrednie połączenie z płaszczem Ziemi, jednocześnie z racji tego, że diament w warunkach normalnych jest fazą przechłodzoną kryształu węgla, sugeruje to bardzo gwałtowny proces powstania. Nie istnieje jak dotąd powszechnie zaakceptowane wyjaśnienie powstawania kominów kimberlitowych. Jedną z nowych hipotez [1] zakłada, że powstają one w wyniku przejścia przez glob obiektu zbudowanego z ultra ciężkiej barionowej ciemnej materii (CUDO – Cosmic UltraDense Object [2]). Istnienie tego rodzaju materii zaproponował E. Witten [3]. Zgodnie z tą hipotezą CUDO przecina kulę ziemską na wskroś, powstający kanał, poszerzony jest przez odgazowanie przeciętych warstw geologicznych wypełnia potok piroklastyczny zawierający materiał z płaszczu. Przypuszcza się, że w procesie przejścia obiektu może dochodzić do reakcji jądrowych czego śladem mogą być anomalie izotopowe, w tym powstawanie długożyciowych radionuklidów [1,4]. Pewne anomalie izotopowe dla stabilnych izotopów są już zaobserwowane w kominach kimberlitowych [5], jednak w istniejących publikacjach nie są one wiązane z hipotezą impaktu CUDO. Prowadzone obecnie badania koncentrują się na poszukiwaniu Pu-244 techniką AMS oraz Sm-146 (na obecnym etapie spektrometria cząstek alfa). Przygotowanie próbek wymaga radiochemicznego wydzielenia frakcji zawierających w/w radionuklidy. W referacie przedstawiona będzie procedura analityczna.

Bibliografia

- [1] Paszkowski, M., Mietelski, J.W. (2013). Acta Physica Polonica B 44, 787- 794
- [2] Refelski, J., Labun, L., Birrell, J. (2013). Phys. Rev. Lett. 110, 111102
- [3] Witten, E. (1984). Physical Review D30, 272-285
- [4] Mietelski, J.W., et al. (2019). Book of Abstracts of ENVIRA 2019 Conference, ID 110 p. 85
- [5] Nakanishi, N., et al. (2021). Proceedings of National Academy of Sciences, 118 (23) e2020680118

Optymalizacja procesu wytwarzania bežnośnikowych znaczników do radiochemicznej analizy strontu i rubidu

Tomasz Mróz^{1*}, Arshiya Anees Ahmed¹, Jerzy W. Mietelski¹

¹Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN

*E-mail: tomasz.mmroz@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: stront, rubid, reakcje p,x, cyklotron AIC-144

Bežnośnikowe znaczniki izotopowe odgrywają istotną rolę w analizie radiochemicznej, badaniach środowiskowych oraz w opracowywaniu procedur śledzenia wydajności chemicznej. Szczególne znaczenie mają ⁸⁵Sr, szeroko stosowany jako znacznik w oznaczeniach strontu, oraz ⁸³Rb [1]. W pracy przedstawiono zmodyfikowaną metodę równoczesnego otrzymywania obu radionuklidów w układzie dwóch tarcz naświetlanych wiązką protonów z cyklotronu AIC-144.

Zastosowanie układu dwóch tarcz pozwala na bardziej precyzyjne dopasowanie efektywnego zakresu energii do przebiegu funkcji wzbudzenia poszczególnych reakcji jądrowych w materiale tarczowym. W praktyce daje to możliwość ograniczenia tworzenia niepożądanych zanieczyszczeń, których obecność wynika z otwierania się konkurencyjnych kanałów reakcji przy energiach leżących poza maksimami krzywych wzbudzenia docelowych izotopów. W tym ujęciu układ dwóch tarcz nie stanowi wyłącznie rozwiązania konstrukcyjnego, lecz jest elementem optymalizacji całego procesu wytwarzania znaczników radiochemicznych.

Bibliografia

[1] Misiak, R., Gaca, P., Bartyzel, M., Mietelski, J. (2003). „High pure, carrier free ⁸⁵Sr and ⁸³Rb tracers obtained with AIC-144 cyclotron”. *Nukleonika*, 48(3), 151-153

Modelowanie transportu promieniowania gamma w analizach demontażu elementów reaktorów PWR

Mikołaj Oettingen^{1*}, Ewa Łaszyńska¹

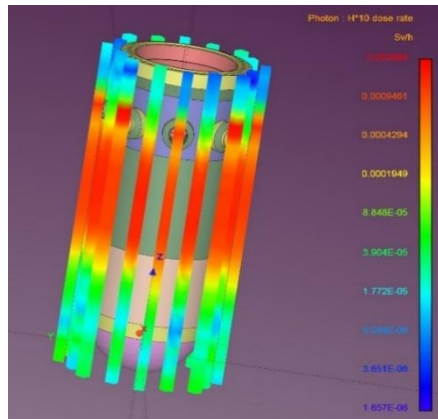
¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Energetyki Jądrowej i Radiochemii, Kraków

*E-mail: moettin@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: metoda Monte Carlo, równoważnik dawki $H^*(10)$, likwidacja elektrowni jądrowej

Likwidacja elektrowni jądrowych wymaga przeprowadzenia szczegółowej charakterystyki radiologicznej elementów konstrukcyjnych reaktora. Przede wszystkim istotne jest określenie pola promieniowania gamma wokół dużych komponentów aktywowanych podczas wieloletniej eksploatacji, takich jak zbiornik ciśnieniowy reaktora (Reactor Pressure Vessel – RPV). Informacje te są kluczowe dla planowania prac demontażowych, oceny zagrożenia radiacyjnego dla personelu oraz projektowania odpowiednich środków ochrony radiologicznej.

W pracy przedstawiono podejście numeryczne do modelowania transportu promieniowania gamma w analizie pola promieniowania wokół elementów konstrukcyjnych reaktorów typu PWR. Studium przypadku dotyczy zbiornika ciśnieniowego reaktora elektrowni jądrowej Trino (280 MWe), eksploatowanej w latach 1965–1987. Symulacje przeprowadzono metodą Monte Carlo z wykorzystaniem kodu RayXpert, uwzględniając geometrię konstrukcji, skład materiałowy oraz radionuklidy powstałe w wyniku aktywacji materiałów.



Rysunek 1. Przestrzenny rozkład równoważnika dawki $H^*(10)$ wokół modelu zbiornika ciśnieniowego reaktora (RPV) uzyskany w symulacji Monte Carlo [1].

Opracowane podejście umożliwia wyznaczenie przestrzennych rozkładów równoważnika dawki $H^*(10)$ oraz wizualizację transportu promieniowania gamma. Uzyskane wyniki mogą wspierać planowanie prac demontażowych i ocenę osłon radiologicznych zgodnie z zasadą ALARA.

Podziękowania

Praca została sfinansowana z subwencji badawczej nr 501.00-210000-10000.

Bibliografia

[1] Łaszyńska, E., Oettingen, M. (2025). "Numerical visualization of gamma radiation distribution in nuclear decommissioning processes". FISA-EURADWASTE & SNETP Forum 2025 12-16 May 2025, Warsaw, Poland

Obliczanie okresu półtrwania radionuklidów w środowisku z wykorzystaniem modeli stosowanych w degradacji pestycydów

Grzegorz Ołoś^{1*}, Agnieszka Dołhańczuk-Śródka¹, Natasha Ng²

¹Uniwersytet Opolski, Wydział Przyrodniczo-Techniczny, Opole, Polska

²Arizona State University Institute of Environmental Health Engineering, Phoenix, USA

*E-mail: golos@uni.opole.pl

Słowa kluczowe: okres półtrwania, radionuklidy, ¹³⁷Cs, pestycydy, modelowanie zaniku

Cel: Celem pracy było zastosowanie narzędzi opracowanych do modelowania degradacji pestycydów w radioekologii, ponieważ w obu przypadkach analizowane są procesy spadku stężenia lub aktywności substancji w czasie, zależne nie tylko od zaniku fizycznego, ale także od migracji, wiązania w środowisku, wymywania oraz zmian biodostępności.

Metodyka: W pracy zastosowano modele kinetyczne wykorzystywane pierwotnie do opisu degradacji pestycydów w środowisku do analizy zmian aktywności ¹³⁷Cs oraz wyznaczania okresów półtrwania radionuklidu w tkankach mięśniowych zwierząt łownych. W badaniach zastosowano oprogramowanie PestDF, DEGKIN_v2, R oraz CAKE v.3.4, umożliwiające dopasowanie zarówno modelu SFO, jak i modeli bardziej złożonych, w tym DFOP, HS oraz IORE/FOMC [1,2].

Wyniki: Obliczono szereg okresów półtrwania ¹³⁷Cs w matrycach biologicznych za pomocą programów predykcyjnych dla pestycydów w środowisku. Wykazano, że w wybranych przypadkach modele DFOB oraz HS mają lepszą zgodność z danymi empirycznymi i wyraźnie wskazują na dwa odrębne procesy zaniku zachodzące jeden po drugim lub dwa procesy działające równolegle. Dla części badanych prób uzyskano wyniki, których wartości były dłuższe niż wynikałoby to tylko z rozpadu fizycznego.

Wnioski: Modele dwufazowe lepiej opisują sytuacje, w których początkowo obserwowany jest szybki spadek aktywności, po którym następuje faza wolniejszego zaniku. Stwierdzono ponadto, że model HS może odzwierciedlać zmianę dominującego mechanizmu transferu radionuklidu w czasie, natomiast model DFOP sugeruje współwystępowanie dwóch procesów o różnych stałych szybkości. W przypadku modelu IORE/FOMC wskazano na możliwość występowania jeszcze większej złożoności zjawiska, obejmującej wiele nakładających się dróg pobierania i redystrybucji radionuklidu w środowisku. Programy dedykowane dla degradacji pestycydów w środowisku mogą stanowić dobrą platformę w interpretacji losów radionuklidów w matrycach środowiskowych.

Bibliografia

[1] Bohaty, R., Eckel, W., Shamim, M., Spatz, D., White, K., Young, D. (2015). Standard operating procedure for using the NAFTA Guidance to calculate representative half-life values and characterizing pesticide degradation. Version 2

[2] FOCUS. (2006). Guidance Document on Estimating Persistence and Degradation Kinetics from Environmental Fate Studies on Pesticides in EU Registration. EC Document Reference Sanco/10058/2005 version 2.0

Badania koncentracji izotopów promieniotwórczych w materiałach węglowych wytworzonych w procesie termochemicznej konwersji biomasy leśnej

Iwona Ostolska^{1*}, Karina Tokarska¹, Barbara Szaćń¹, Stanisław Chibowski¹, Piotr Nowicki², Małgorzata Wiśniewska¹

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Instytut Nauk Chemicznych, Lublin

²Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii, Poznań

*E-mail: iwona.ostolska@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: promieniowanie gamma, konwersja termochemiczna, materiały odpadowe, grzyby, materiały węglowe

Biowęgiel, z uwagi na swoje właściwości porowate oraz chemię powierzchni, uważany jest za bardzo obiecujący materiał stosowany w procesach oczyszczania i remediacji gleb [1]. Pomimo wielu niezaprzeczalnych korzyści, produkcja biowęgla i węgla aktywnych, a następnie ich wprowadzanie do środowiska naturalnego, może nieść ze sobą również pewne zagrożenia. Po pierwsze, istnieje możliwość wprowadzenia do środowiska glebowego związków toksycznych, np. wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, dioksyn i furanów, co negatywnie wpływa na organizmy żywe i może powodować zanieczyszczenie wód gruntowych [2]. Dodatkowo, aspekt związany z zawartością radionuklidów w otrzymanych materiałach (które mogą być wykorzystane jako paliwa alternatywne, adsorbenty oraz w procesie remediacji gleb) jest niedostatecznie opisany w literaturze i pomijany przy ocenie ryzyka zastosowania biowęgla i węgla aktywnych w energetyce, ochronie środowiska i rolnictwie.

Biomasę wyjściową stanowił odpad po przetworzeniu pieprznika jadalnego i podgrzybka brunatnego. Po zebraniu, grzyby wysuszono do stałej masy, a następnie rozdrobniono. Otrzymane prekursorzy poddano trzem wariantom obróbki termochemicznej: toryfikacji, pirolizie oraz bezpośredniej aktywacji za pomocą CO₂ (z wykorzystaniem ogrzewania konwencjonalnego i mikrofalowego). Zawartość radionuklidów pochodzenia naturalnego i antropogenicznego oznaczono z wykorzystaniem spektrometru promieniowania gamma z detektorem germanowym w geometrii planarnej (ORTEC AMETEK). Każda z próbek mierzona była w czasie 172 800 sekund, podczas gdy własne tło urządzenia mierzono przez okres 6 dni. Do analizy zebranych danych wykorzystano oprogramowanie Maestro-PRO V9.00.02 i GammaVision w wersji 9.

Podziękowania

„Pomiary gamma – spektrometryczne zostały wykonane przy użyciu aparatury zakupionej ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki [inwestycja związana z działalnością naukową na zakup aparatury naukowo – badawczej/ nr 7325/IA/SP/2022].”

Bibliografia

[1] Nguyen, T.B., Sherpa, K., Bui, X.T., Nguyen, V.T., Vo, T.D.H., Ho, H.T.T., Chen, C.W., Dong, C.D. (2023). „Biochar for soil remediation: A comprehensive review of current research on pollutant removal”. *Environmental Pollution*, 337, 122571

[2] Godlewska, P., Ok, Y. S., Oleszczuk, P. (2021). „The dark side of black gold: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils”. *Journal of Hazardous Materials*, 403, 123833

Perspektywy zagospodarowania odpadów radioaktywnych z małych reaktorów modułowych (SMR) – doświadczenia z programu EURAD-2 FORSAFF

Irene Canals, David García, Jesus Martínez, Marek Pekala*

Amphos 21 Consulting, c/ Pujades 340, 08019 Barcelona, Hiszpania

*E-mail: marek.pekala@amphos21.com

Słowa kluczowe: odpady radioaktywne, SMR, EURAD-2, FORSAFF

Przyszłe wdrażanie małych reaktorów modułowych (SMR) oferuje szereg potencjalnych korzyści w zakresie dywersyfikacji źródeł energii, ale jednocześnie wiąże się z istotnymi wyzwaniami dotyczącymi gospodarowania wytwarzanymi przez nie odpadami promieniotwórczymi. Wyzwania te obejmują identyfikację i charakterystykę strumieni odpadów, ocenę metod przetwarzania, kondycjonowania i magazynowania, przerobu wypalonego paliwa oraz jego ostateczne składowanie. Szeroki zakres technologii i projektów SMR wymaga kompleksowego i innowacyjnego podejścia do gospodarki odpadami, zgodnego z obecnymi i przyszłymi strategiami krajowymi.

Pakiet roboczy 4 (WP4) projektu FORSAFF (EURAD-2) podejmuje to wyzwanie poprzez strategiczne studium obejmujące identyfikację strumieni odpadów, rozwiązania w zakresie etapów przed składowaniem (predisposal) i składowania końcowego, technologie przerobu paliwa oraz zaawansowane metody charakterystyki i modelowania. W Zadaniu 4, prowadzonym przez Amphos 21, analizowane są luki w danych i wiedzy w całym procesie gospodarowania odpadami promieniotwórczymi z SMR. Obejmuje to etapy poprzedzające składowanie, magazynowanie, transport oraz ostateczne składowanie. W ramach zadania oceniana jest również możliwość zastosowania istniejących koncepcji przerobu do typów paliwa SMR, przy jednoczesnej identyfikacji potencjalnej potrzeby opracowania nowych technologii przerobu dostosowanych dla tzw. zaawansowanych paliw. Dodatkowo analizowane są braki w eksperymentalnych technikach charakterystyki oraz narzędziach modelowania, w szczególności w odniesieniu do nowych lub nietypowych form odpadów, dla których dostępne dane są ograniczone.

Prace te umożliwiają identyfikację luk naukowych i technologicznych, potrzeb infrastrukturalnych oraz priorytetowych obszarów przyszłych badań i rozwoju (R&D). Wyniki Zadania 4 wspierają opracowanie świadomych, bezpiecznych i efektywnych strategii gospodarowania odpadami z SMR w Europie. Niniejsze streszczenie podsumowuje zintegrowane podejście przyjęte w projekcie FORSAFF, mające na celu sformułowanie praktycznych rekomendacji dla decydentów i interesariuszy zaangażowanych we wdrażanie SMR w kontekście gospodarowania odpadami promieniotwórczymi.

Rola modelowania atmosferycznego w prognozowaniu dawek promieniowania pochodzących z odpadów NORM

Marcin Płachciak^{1,2*}, Fidel Grandia¹

¹Amphos 21 Consulting S.L., Radioactive Waste Management, Barcelona

²Universidad de Huelva, Ciencias de la Tierra, Huelva

*E-mail: marcin.plachciak@amphos21.com

Słowa kluczowe: modelowanie atmosferyczne, NORM, emisja pyłu, dawki promieniowania

Emisja pyłu oraz jego rozprzestrzenianie się w atmosferze, w tym cząstek zawierających naturalnie występujące materiały promieniotwórcze (NORM), może stanowić istotną drogę narażenia radiologicznego dla pracowników oraz ludności zamieszkującej w pobliżu składowisk i terenów przemysłowych [1]. Modelowanie numeryczne stanowi w tym kontekście efektywne narzędzie do oceny wpływu środowiskowego i radiologicznego. Zrozumienie procesów transportu, depozycji i potencjalnych dróg narażenia jest kluczowe dla właściwej oceny ryzyka [2]. W niniejszej pracy zastosowano modele numeryczne do symulacji rozprzestrzeniania się pyłu w różnych warunkach meteorologicznych i środowiskowych, co umożliwiło kompleksową ocenę potencjalnego oddziaływania radiologicznego.

Przeanalizowano trzy studia przypadków obejmujące różne źródła emisji cząstek NORM do powietrza, w tym zakłady przetwórstwa przemysłowego (produkcja kwasu fosforowego) oraz obiekty unieszkodliwiania odpadów, zlokalizowane w pobliżu terenów zamieszkałych. Zastosowano zaawansowane modele do oszacowania wielkości emisji, dynamiki dyspersji i wzorców depozycji, uwzględniając takie czynniki jak prędkość i kierunek wiatru, rozkład wielkości cząstek oraz stabilność atmosfery. Tam, gdzie było to możliwe, wyniki zweryfikowano na podstawie danych pomiarowych.

Głównym celem badań była ocena dawek wynikających z inhalacji oraz narażenia zewnętrznego na rozproszone cząstki NORM, zwłaszcza w odniesieniu do populacji zamieszkującej w sąsiedztwie analizowanych obiektów. Otrzymane stężenia radionuklidów w powietrzu pozwoliły na oszacowanie dawek i ocenę zgodności z obowiązującymi normami. Wyniki wskazują, że narażenie ludności mieści się w dopuszczalnych limitach, natomiast w niektórych scenariuszach zawodowych może być konieczne wprowadzenie dodatkowych środków ograniczających emisję pyłu.

Badanie podkreśla znaczenie łączenia zweryfikowanych modeli dyspersji z danymi specyficznymi dla danego obiektu. Niepewności związane z charakterystyką emisji i procesami transportu wskazują na potrzebę dalszego doskonalenia modeli oraz rozwoju monitoringu środowiskowego. Wyniki stanowią wsparcie dla podejmowania decyzji w zakresie ochrony radiologicznej i zarządzania środowiskowego na terenach objętych oddziaływaniem NORM.

Bibliografia

- [1] Płachciak, M. (2020). "Numerical assessment of the radiological impact of dust inhalation from phosphogypsum piles. The case of Huelva city (SW Spain)". Praca Magisterska, Chimie ParisTech
- [2] Fernández-Camacho, R., Rodríguez, S., de la Rosa, J., Sánchez de la Campa, A.M., Alastuey, A., Querol, X., González-Castanedo, Y., Garcia-Orellana, I., Nava, S. (2012). "Ultrafine particle and fine trace metal (As, Cd, Cu, Pb and Zn) pollution episodes induced by industrial emissions in Huelva, SW Spain". *Atmospheric Environment*, 61, 507-517

Analiza radiochemiczna środowiska

Bogdan Skwarzec^{1*}

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Gdańsk

*E-mail: bogdan.skwarzec@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: pobieranie, przygotowanie i mineralizacja próbek środowiskowych, metody zateżenia i separacji radionuklidów, techniki pomiaru aktywności radionuklidów

Analiza nuklidów promieniotwórczych próbek środowiskowych jest pracochłonna i wieloetapowa. W zależności od rodzaju i masy próbki (wody naturalne, rośliny, zwierzęta, gleby, osady dennie, skały) szczególnie dużo pracy wymagają etapy zateżenia i separacji radionuklidów w matrycach o zróżnicowanym składzie chemicznym. Ma to istotne znaczenie w przypadku oznaczania emiterów promieniowania alfa i beta. Tok postępowania analitycznego i metodyka oznaczania tych radionuklidów uwzględnia przede wszystkim konieczność otrzymania czystych frakcji (preparatów) zawierających jedynie izotopy promieniotwórcze oznaczanego pierwiastka z możliwie dużym odzyskiem. Opracowane metody oznaczania radionuklidów naturalnych i sztucznych w próbkach środowiskowych wymagają walidacji, która zapewnia, że otrzymane wyniki pomiarowe są miarodajne (dokładne i precyzyjne) [1,2,3].

Do pomiaru aktywności radionuklidów w próbkach środowiskowych stosowane są spektrometry alfa, beta i gamma wyposażone w niskotłowe detektory scyntylicyjne i półprzewodnikowe oraz licznik proporcjonalny i licznik Geigera-Müllera (GM). Pozwalają one na oznaczenie aktywności analizowanych radionuklidów w przyrodzie na poziomie poniżej 1 mBq [1,2,3].

Bibliografia

[1] Skwarzec, B. (2021). „Radiochemia środowiska”. Wydawnictwo UG, Gdańsk

[2] Skwarzec, B. (2010). “Determination of radionuclides in the aquatic environment”. Analytical measurements in aquatic environments, ed. by Jacek Namieśnik, Piotr Szefer. Boca Raton [etc.]: CRC Press/Taylor & Francis Group, Analytical Chemistry Series, 241-258

[3] Skwarzec, B. (2016). “Analysis of radionuclides”. Handbook of trace analysis: Fundamentals and applications (ed. I. Baranowska), Springer International Publishing AG Switzerland, Heidelberg, New York, Dordrecht, London, 431-453

Zmodyfikowane podejście do oznaczania izotopów radu w próbkach ciekłych metodą LSC

Damian Stefański^{1*}, Stanisław Chałupnik¹, Izabela Chmielewska¹

¹Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej, Katowice

*E-mail: dstefanski@gig.eu

Słowa kluczowe: izotopy radu, spektrometria ciekłoscyntylacyjna, próbki wody

W Śląskim Centrum Radiometrii Środowiskowej od lat 70. XX wieku stosowana jest metoda oznaczania izotopów radu: ^{226}Ra i ^{228}Ra w wodach kopalnianych, w oparciu o spektrometrię ciekłoscyntylacyjną (LSC), która jest poprzedzona kilkudniową preparatyką chemiczną. Pomiary LSC wraz z odpowiednio dobraną preparatyką radiochemiczną zapewniają bardzo niskie granice wykrywalności dla naturalnie występujących materiałów promieniotwórczych (NORM). W stosowanej metodzie ostatnim etapem preparatyki chemicznej jest przeniesienie drobnych kryształów siarczanu barowradowego do fiolki LS ze scyntylatorem żelującym [1,2]. Cała procedura wymaga od personelu dużej precyzji i doświadczenia w przeprowadzaniu preparatyki. W związku z powyższym podjęto próbę uproszczenia i udoskonalenia procedury poprzez rozpuszczenie osadu BaRaSO_4 , na końcowym etapie analizy radiochemicznej. W pracy przeanalizowano wpływ modyfikacji procedury przygotowania próbki na wyniki oznaczeń. Metoda ta znajduje zastosowanie w analizie różnych rodzajów wód, w tym środowiskowych, przeznaczonych do spożycia przez ludzi, a także różnych matryc (osady, biota).

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach działalności statutowej Głównego Instytutu Górnictwa – Państwowego Instytutu Badawczego w roku 2024. Numer umowy 11153012

Bibliografia

- [1] Chałupnik, S., Lebecka, J. (1993). "Determination of ^{226}Ra , ^{228}Ra , ^{224}Ra in water and aqueous solutions by liquid scintillation counting, Liquid Scintillation". Noakes JE, Schonhofer F., Polach HA., editors, LSC 1992 Advances in Liquid Scintillation Spectrometry. Radiocarbon, Tuscon, Arizona, USA
- [2] Chmielewska, I., Chałupnik, S., Bonczyk, M. (2014). "Natural radioactivity in drinking underground waters in Upper Silesia and solid waste produced during treatment". Appl. Radiat. Isot. 93, 96-100

Rozkład aktywności izotopów gamma promieniotwórczych w glebach technogenicznych w rejonach historycznego górnictwa rud metali w Górach Świętokrzyskich

Marcin Stobiński^{1*}, Damian Murach^{2*}, Łukasz Uzarowicz^{2*}

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

²Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Katedra Gleboznawstwa

*E-mail: stobinsk@agh.edu.pl, damian_murach@sggw.edu.pl, lukasz_uzarowicz@sggw.edu.pl

Słowa kluczowe: TENORM, spektrometria gamma, gleby technogeniczne, hałdy kopalniane

W Górach Świętokrzyskich (centralna Polska) działały w przeszłości kopalnie rud polimetalicznych. Były to m.in. kopalnia żelaza i uranu w Rudkach (ślady wydobycia z I–II w. n.e.; wydobycie trwało do lat 70. XX w.), a także kopalnie rud miedzi w Miedzianej Górze i Miedziance (wydobycie co najmniej od XVI w. aż do połowy XX w.). Celem badań była analiza aktywności izotopów gamma promieniotwórczych w glebach na składowiskach odpadów górniczych oraz wyznaczenie współczynników AED (rocznej dawki skutecznej) dla obszaru, na którym zlokalizowano profil glebowy. Próbkę glebową pobrano ze wszystkich poziomów glebowych badanych gleb: Rudki (2 profile, 13 poziomów), Miedziana Góra (4 profile, 23 poziomy) oraz Miedzianka (1 profil, 4 poziomy). Głębokość badanych profili mieściła się w zakresie od 45 do 110 cm. Wszystkie analizy prowadzono na detektorach typu HPGe (BE3830 o wyd. wzgl. 34%). Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wartości maksymalne, średnie i mediana aktywności badanych izotopów gamma promieniotwórczych TENORM, sztucznego ¹³⁷Cs (tylko powierzchniowe poziomy) oraz rocznej dawki skutecznej w badanych glebach. Dla wartości maksymalnych podano numer profilu i głębokość, z której pobrano próbkę. Przedstawiono także wartości średnie dla Polski i świata [1,2].

	¹³⁷ Cs [Bq/kg]	⁴⁰ K [Bq/kg]	²²⁸ Th [Bq/kg]	²²⁶ Ra [Bq/kg]	²³⁸ U [Bq/kg]	²³⁵ U [Bq/kg]	AED [mSv/y]
średnia	24,3	569	31,7	129,5	165,8	10,8	0,17
mediana	7,4	526	34,9	73,1	94,1	6,3	0,16
maksimum i lokalizacja (profil glebowy, głębokość)	140,7 MG2 (2-5 cm)	1151 MG2 (40-70 cm)	55,6 MG2 (40-70 cm)	474,2 MG4 (7-25 cm)	552,8 MG3 (50-65 cm)	38,8 MG3 (50-65 cm)	0,32 MG4
Polska średnia (zakres)		410 110-970	21 4-77	26 5-120	26 5-120		0,06
Świat średnia			30	35	35		0,07

Najwyższe stężenie izotopów TENORM stwierdzono w glebach technogenicznych z Miedzianej Góry. Zmierzone aktywności promieniotwórcze ²²⁶Ra i ²³⁸U oraz obliczona AED, przekraczają średnie wartości gleb światowych oraz polskich. Wykraczają one także poza zakres aktywności gleb Polski, przy czym należy zaznaczyć, że aktywności badanych izotopów oraz AED nadal należą do niskich i nie niosą ze sobą zagrożeń dla ogółu ludności.

Podziękowania

Praca sfinansowana z subwencji badawczej nr 501.00-210000-10000.

Bibliografia

- [1] UNSCEAR, 2000. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation
[2] UNSCEAR, 2008a. Sources and effects of ionizing radiation. New York

Od monitoringu środowiska do energetyki jądrowej: osiągnięcia i kierunki rozwoju Zespołu Analityki Radiochemicznej i Promieniotwórczości w Środowisku

Katarzyna Szarłowicz^{1*}

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

*E-mail: szarlowi@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: radionuklidy, radiometria, monitoring, energetyka jądrowa, analityka radiochemiczna

Zagadnienia radiochemiczne na Wydziale Energetyki i Paliw AGH zostały zainicjowane w 2011 roku w ramach działalności Katedry Chemii Węgla i Nauk o Środowisku, gdzie prof. Kubica utworzyła grupę radiochemiczną. W 2023 roku powołano Zespół Analityki Radiochemicznej i Promieniotwórczości w Środowisku pod kierownictwem dr hab. Katarzyny Szarłowicz, prof. AGH. Od 2024 roku jednostka ta funkcjonuje w strukturze Katedry Energetyki Jądrowej i Radiochemii.

Zespół prowadzi działalność naukowo-badawczą oraz dydaktyczną w oparciu o kompleksowe podejście, obejmujące zastosowanie radionuklidów w przemyśle, ochronie środowiska oraz energetyce jądrowej. Istotnym elementem jego działalności jest realizacja prac dyplomowych i doktorskich, co sprzyja kształceniu wysoko wykwalifikowanej kadry w obszarze radiochemii i analityki środowiskowej.

Zespół rozwija kierunki badań w zakresie analityki radiochemicznej, monitoringu radiacyjnego, ochrony radiologicznej, radiometrii oraz zastosowań radioizotopów w przemyśle i energetyce, a także w interpretacji zmian środowiskowych i klimatycznych. Badania naukowe koncentrują się na analizie promieniotwórczości i obejmują oznaczanie radionuklidów naturalnych i antropogenicznych w próbkach różnego pochodzenia, m.in. w komponentach środowiska przyrodniczego, próbkach pochodzenia technogenicznego, materiałach alternatywnych oraz produktach spożywczych. Wiele działań naukowych podjęto również w związku z rozwojem energetyki jądrowej w Polsce. Należą do nich m.in. rozwój metodyk oznaczania trytu, opracowanie innowacyjnej metody pozyskiwania uranu z popiołów węglowych oraz wykorzystanie nowych materiałów jako sorbentów w dekontaminacji skażeń promieniotwórczych.

Zespół dysponuje nowoczesną, specjalistyczną aparaturą badawczą, obejmującą spektrometry promieniowania gamma, spektrometry alfa, liczniki ciekłoscyntylacyjne, detektor neutronów oraz systemy dozymetryczne. Umożliwia to prowadzenie zaawansowanych analiz radiometrycznych oraz rozwój innowacyjnych, przyjaznych środowisku metod oznaczania radionuklidów.

Prowadzone zagadnienia badawcze mają charakter interdyscyplinarny, a podejmowane działania są nowoczesne i posiadają potencjał komercyjny. Prace i projekty naukowe realizowane są we współpracy międzynarodowej. Do licznych osiągnięć pracowników należą patenty krajowe i europejskie, publikacje w czasopismach międzynarodowych oraz nagrody za działalność naukową i dydaktyczną, przyznawane zarówno na szczeblu krajowym, jak i międzynarodowym.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków z subwencji dla Wydziału Energetyki i Paliw, AGH w Krakowie projekt 501.00-210000-10000.

Radioaktywność środowiska na terenie wybranych wałbrzyskich hałd i osadników kopalnianych

Dagmara E. Tchorz-Trzeciakiewicz^{1*}, Dawid Wiecki¹

¹Uniwersytet Wrocławski, Instytut Nauk Geologicznych, Wrocław

*E-mail: dagmara.tchorz-trzeciakiewicz@uwr.edu.pl

Słowa kluczowe: promieniowanie jonizujące, hałda, osadnik poflotacyjny, górnictwo węgla kamiennego, Dolnośląskie Zagłębie Węglowe

Celem badań było określenie poziomu promieniowania jonizującego na terenach hałd i osadników kopalnianych Wałbrzyskiego Zagłębia Węglowego. Zagłębie Wałbrzyskie jest obszarem o największym historycznie wydobyciu węgla w województwie dolnośląskim. Jego powierzchnia wynosi 93,7 km². Przemysłowe wydobycie węgla na tym obszarze zakończono w 1998 r. [1].

Pomiary mocy dawki promieniowania wykonano metodą in situ przy użyciu radiometru RK 100-2. Czas pomiaru w jednym miejscu pomiarowym wynosił 100 s. Lokalizacja punktów pomiarów została określona za pomocą GPS Garmin 65. Łącznie wykonano 516 pomiarów, w tym 86 na terenie zabudowanym miasta Wałbrzycha, 100 na osadnikach i 330 na hałdach. Obszar badań obejmował tereny górnicze trzech kopalń: Wałbrzych, Victoria i Thorez. Charakterystykę materiału składowanego na hałdach i w osadnikach przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Struktura odpadów górniczych składowanych w latach 1960-1996 w Zagłębiu Węglowym (na podstawie: [2];[3])

Miejsca powstawania odpadów	Rodzaj odpadów		
	KWK „Wałbrzych”	KWK „Victoria”	KWK „Thorez”
Odpady z dołowych robót górniczych	iłowce, mułowce, łupki ilaste, piaskowce, zlepieńce	łupki ilaste, mułowce, iłowce, piaskowce, zlepieńce	iłowce, mułowce, łupki ilaste, piaskowce, zlepieńce ryolity
Odpady z sortowni (>80 mm)	łupki ilaste, mułowce, piaskowce, zlepieńce, okruchy węgla (do 12% ogółu odpadów)	łupki ilaste, piaskowce, mułowce, okruchy węgla (do 10% ogółu odpadów)	łupki ilaste, mułowce, okruchy węgla (6 - 14% ogółu odpadów)
Odpady z płuczki (średnica 20-80 mm)	łupki ilaste, mułowce, okruchy węgla (do 10% ogółu odpadów)	łupki ilaste, mułowce, okruchy węgla (do 15% ogółu odpadów)	łupki ilaste, mułowce, okruchy węgla (do 15% ogółu odpadów)
Odpady z osadzarek (średnica 1-20 mm)	okruchy piaskowców, zlepieńców i węgla	okruchy piaskowców, zlepieńców i węgla	okruchy piaskowców, zlepieńców, ryolitów i węgla
Odpady poflotacyjne (ziarna mniejsze od 1 mm)	muł węglowy (do 28% ogółu odpadów), miął skalny, popiół	miął węglowy (25-31% ogółu odpadów), miął skalny, popiół	miął węglowy (25-32% ogółu odpadów), miął skalny, popiół

Moc dawki promieniowania na terenach zabudowanych miasta Wałbrzycha mieściła się w zakresie od 0,09 $\mu\text{Sv/h}$ do 0,29 $\mu\text{Sv/h}$, ze średnią 0,17 $\mu\text{Sv/h}$. Moc dawki promieniowania na terenie hałd wahała się od 0,09 $\mu\text{Sv/h}$ do 0,54 $\mu\text{Sv/h}$, zaś na terenie osadników od 0,11 $\mu\text{Sv/h}$ do 0,65 $\mu\text{Sv/h}$.

Bibliografia

- [1] Wójcik, J. (2018). "Tereny pokopalniane Zagłębia Wałbrzyskiego 20 lat po zamknięciu kopalń węgla". *Przegląd Geograficzny*, 90(2), 267-290
- [2] Wójcik, J. (2012). "Wałbrzyskie hałdy i osadniki kopalniane jako źródło surowców wtórnych – wstępne wyniki inwentaryzacji". *Przegląd Geologiczny*, 60(4), 221-226
- [3] Geobaza hałdy: <https://geologia.pgi.gov.pl/hałdy/>

Wdrożenie symulacji Monte Carlo w kalibracji i analizie widm promieniowania gamma

Stefan Tombiński^{1*}, Mateusz Kasprzycki², Krzysztof Panas², Tomasz Mróz¹

¹Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego PAN, Kraków

²IRtech sp. z o.o., Kraków

*E-mail: Stefan.tombinski@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: HPGe, spektrometria gamma, LVis, LabVision

Na przestrzeni lat standardem w wielu laboratoriach specjalizujących się w spektrometrii promieniowania gamma było stosowanie fizycznych wzorców kalibracyjnych, właściwych dla każdej z wykorzystywanych geometrii pomiarowych. Ze względu na ograniczenia związane z dostępnością wzorców oraz ich dopasowaniem do rzeczywistych warunków pomiarowych, coraz powszechniej stosowane są metody kalibracji oparte na symulacjach Monte Carlo, umożliwiające wyznaczanie krzywych wydajności geometrycznej dla różnych konfiguracji układu detektor-źródło.

Przykładem kompleksowego rozwiązania tego typu jest oprogramowanie ORTEC LabVision (LVis), zintegrowane z pakietem Monte Carlo tRAYcy. System umożliwia jednocześnie zarządzanie procedurami pomiarowymi oraz realizację obliczeń symulacyjnych w ramach jednolitego środowiska, obejmującego definiowanie rutyn pomiarowych, archiwizację danych oraz kontrolę jakości. Wykorzystanie wielowątkowego algorytmu typu ray-tracing do symulacji funkcji odpowiedzi detektorów i widm promieniowania pozwala na uwzględnienie efektów geometrycznych i koincydencyjnych, realizację matematycznej kalibracji wydajnościowej oraz symulację widm z uwzględnieniem promieniowania α , β , γ , promieniowania X i elektronów konwersji.

Pierwsze wdrożenia systemu w laboratoriach krajowych wskazują na możliwość ograniczenia liczby stosowanych wzorców fizycznych oraz zwiększenie elastyczności w opracowywaniu nowych geometrii pomiarowych, przy zachowaniu wymaganej dokładności i powtarzalności wyników analiz spektrometrycznych.

Zastosowanie spektrometrii mas do pomiaru stosunku masowego $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$ w środowisku glacjalnym

Kamil Wojciechowski^{1*}, Anna Cwanek¹, Edyta Łokas¹

¹Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Zakład Spektrometrii Mas, Kraków

*E-mail: kamil.wojciechowski@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia promieniotwórcze, stosunek masowy $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$, środowiska glacjalne, kriosfera

Zanieczyszczenia promieniotwórcze, będące konsekwencją atmosferycznych testów jądrowych, wypadków reaktorów jądrowych czy uwolnień z zakładów przeróbki paliwa jądrowego, mogą podlegać akumulacji w niektórych elementach środowiska glacjalnego, gdzie może dochodzić do ich wtórnego uwolnienia w wyniku topnienia i cofania się lodowców. Istotnym elementem środowiska glacjalnego są kriokonity, skupiska ciemnego osadu gromadzące się w zagłębieniach na powierzchni lodowca, charakteryzujące się wyjątkową zdolnością akumulacji radioizotopów. Dzięki temu kriokonity są idealnym materiałem do pomiarów skażeń promieniotwórczych i mogą dostarczać informacji o potencjalnych źródłach zanieczyszczeń w badanym obszarze. Wśród badanych izotopów znajdują się między innymi izotopy plutonu, w szczególności ^{239}Pu i ^{240}Pu wykorzystywane do wyznaczania stosunku masowego $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$ (zależącego od czynników takich jak typ uwolnienia – broń jądrowa bądź reaktory jądrowe), jak również izotopy uranu, między innymi ^{236}U . O ile izotop ten występuje naturalnie, za znaczącą część jego obecności w środowisku odpowiada jednak działalność człowieka. Dodatkowo, jego niskie stężenia aktywności w próbkach środowiskowych powodują trudności pomiarowe i nie jest on tak często, w porównaniu do innych radioizotopów, raportowany w literaturze. W celu wyznaczenia stosunku masowego $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$ wprowadzona została nowa, sekwencyjna, procedura pomiarowa wykorzystująca spektrometrię mas sprzężoną z plazmą wzbudzaną indukcyjnie (ICP-MS). W celu pokonania trudności analitycznych związanych z wyznaczeniem stężenia ^{236}U , pomiar podzielony jest na trzy części: (i) wyznaczenie stężenia ^{235}U , (ii) wyznaczenie stężenia ^{236}U na podstawie pomiaru ^{235}U oraz stosunku masowego $^{236}\text{U}/^{235}\text{U}$, (iii) pomiar stężenia ^{239}Pu i w końcu wyznaczenie stosunku $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$. Oddzielny pomiar izotopów plutonu umożliwia również określenie stosunku $^{240}\text{Pu}/^{239}\text{Pu}$. Nowo opracowana procedura pomiarowa została wykorzystana do określenia stosunku $^{236}\text{U}/^{239}\text{Pu}$ w próbkach środowiskowych – w tym po raz pierwszy w próbkach supraglacjalnych, jakimi są kriokonity.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Nauki [nr grantu 2021/43/O/ST10/02428].

Zmienność aktywności Rn-222 w pomieszczeniu mieszkalnym w zależności od warunków atmosferycznych – analiza z wykorzystaniem metod szeregów czasowych

Zbigniew Ziembik¹, Agnieszka Dołhańczuk-Śródka¹, Daniel Janecki¹, Andrzej Kłos¹

¹Uniwersytet Opolski, Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Opole

*E-mail: ziembik@uni.opole.pl

Słowa kluczowe: aktywność Rn-222, powietrze wewnętrzne, warunki atmosferyczne

Celem badań było zbadanie zmian stężenia aktywności Rn-222 w standardowym mieszkaniu w krótkich odstępach czasu. Określono zmiany stężenia aktywności radonu w pokoju mieszkalnym, a także temperaturę, ciśnienie atmosferyczne i wilgotność względną powietrza. Wyniki pomiarów rejestrowano co 10 min, w ciągu kilku dni drugiej połowy grudnia. Do obliczeń wykorzystano także dane meteorologiczne udostępnione przez stację pomiarową IMGW.

W analizie otrzymanych wyników pomiarów wykorzystano metody analizy serii czasowych. Do analizy wyników pomiarów zastosowano funkcje autokorelacji (ACF), cząstkowej autokorelacji (PACF) oraz dekompozycji na trend, cykliczność i sezonowość. Związek pomiędzy aktywnością Rn-222 i parametrami powietrza wewnętrznego oraz warunkami atmosferycznymi określano za pomocą funkcji korelacji wzajemnej (CCF). Do tego celu wykorzystano także autoregresyjny zintegrowany model średniej ruchomej (ARIMA).

Analiza wyników wykazała dobową zmienność aktywności Rn-222. Zauważono, że istotny wpływ na jego aktywność ma m.in. temperatura powietrza w pomieszczeniu.

Podziękowania

Praca została zrealizowana w MCBR UO (Międzynarodowym Centrum Badawczo-Rozwojowym Uniwersytetu Opolskiego) powstałym w ramach projektu współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego RPO WO 2014-2020. Działanie 1.2 Infrastruktura B+R. Umowa nr RPOP.01.02.00-16-0001/17-00 z dnia 31.01.2018 r.

Zastosowanie metody absorpcji promieniowania gamma do kalibracji zwężki Venturiego w przepływie dwufazowym ciecz-gaz

Marcin Zych^{1*}, Marek Jaszczur¹, Patryk Marczak¹, Robert Hanus², Volodymyr Mosorov³, Andrzej Mrowiec⁴, Artur Andruszkiewicz⁵, Piotr Piechota⁵, Anna Golijanek-Jędrzejczyk⁶, Dariusz Świsulski⁶

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

²Politechnika Rzeszowska, Wydział Elektrotechniki i Informatyki, Rzeszów

³Politechnika Łódzka, Wydział Elektrotechniki, Elektroniki, Informatyki i Automatyki, Łódź

⁴Uniwersytet Kaliski, Wydział Politechniczny, Kalisz

⁵Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny, Wrocław

⁶Politechnika Gdańska, Wydział Elektrotechniki i Automatyki, Gdańsk

*E-mail: zych@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: absorpcja promieniowania gamma, zwężka Venturiego, przepływ dwufazowy ciec-gaz, analiza niepewności, statystyczna analiza sygnałów

Zwężka Venturiego jest powszechnie wykorzystywana do pomiarów natężenia przepływu jednofazowego (cieczy lub gazu) w rurociągach, poprzez pomiar różnicy ciśnień. Jej zastosowanie jest opisane normą ISO 6167-4 [1]. Jednak w przypadku, gdy zwężka była wykalibrowana do przepływu cieczy (wody), a pojawia się druga faza gazowa (powietrze, para wodna), wówczas odczyt wskazań będzie niewłaściwy. Dlatego autorzy postawili sobie zadanie, aby określić, jak udział objętościowy fazy gazowej oraz tworzących się struktur wpływają na wskazania urządzenia. W tym celu została przebudowane stanowisko badawcze, gdzie oprócz przedmiotu badań, którym była zwężka Venturiego zamontowano inne urządzenia pomiarowe pozwalające wyznaczyć niezależnie parametry przepływu. Wśród układów pomiarowych był zestaw radiometryczny składający się z dwóch sond scyntylacyjnych NaI(Tl) oraz z dwóch zamkniętych źródeł promieniowania gamma Am-241. Zestaw radiometryczny umożliwia wyznaczenie średniej prędkości przepływu fazy gazowej, średniego jej udziału objętościowego w mieszaninie, a także wielkość i rodzaj tworzących się struktur gazu w przepływie. W referacie zostanie przedstawiona metodyka pomiarów [2] oraz możliwości ich wykorzystania np. w układach chłodzenia elektrowni cieplnych.

Podziękowania

Praca naukowa dofinansowana ze środków budżetu państwa w ramach programu Ministra Edukacji i Nauki pod nazwą Polska Metrologia nr projektu PM/SP/0020/2021/1 kwota dofinansowania 975590 zł całkowita wartość projektu 975590 zł.

Praca sfinansowana z subwencji Katedry Energetyki Jądrowej i Radiochemii Wydziału Energetyki i Paliw, Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, nr 501.00-210000-10000.

Bibliografia

[1] INTERNATIONAL STANDARD. (2022). ISO 5167-4:2022(E) „Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full – Part 4: Venturi tubes”. Geneva

[2] Marczak, P., Zych, M., Hanus, R., Mrowiec, A., Golijanek-Jędrzejczyk, A., Świsulski, D., Dzwonkowski, A., Andruszkiewicz, A., Piechota, P., Synowiec, P., Wędrychowicz, W., Wróblewska, E., Jaszczur, M. (2025). „Analiza przepływu wielofazowego z wykorzystaniem różnych metod pomiarowych”. W: Piasecka, M. (red.). Rozwiązania w wymianie ciepła i masy: wyzwania i perspektywy: [SWCiM 2025: XVII Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy: Kielce, 8–10 września 2025], T. 1, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 444-457

Excitation Functions of Proton-Induced Reactions on Natural Zinc in the 5–60 MeV Energy Range: Implications for Medical Radionuclide Production and Nuclear Data Evaluation

Arshiya Anees Ahmed, Tomasz M. Mróz, Jerzy W. Mietelski

Institute of Nuclear Physics, Polish Academy of Sciences (IFJ PAN), Cracow Poland

*E-mail: Arshiya.ahmed@ifj.edu.pl

Keywords: proton-induced reactions, natural zinc, medical radionuclides, activation technique, nuclear data

Proton-induced reactions on natural zinc provide access to several radionuclides of established and emerging importance in nuclear medicine, including $^{64,67}\text{Cu}$, $^{66,67,68}\text{Ga}$, and activation-related products such as $^{57,58,60}\text{Co}$ and ^{65}Zn . Reliable excitation-function data are essential both for radiopharmaceutical production planning and for benchmarking nuclear reaction models.

In this work, excitation functions for $^{\text{nat}}\text{Zn}(p,x)$ reactions were experimentally determined in the proton energy range of 5.1–59.4 MeV using the stacked-foil activation technique combined with high-resolution γ -ray spectrometry. Three separate irradiations were performed at the AIC-144 cyclotron to cover the full energy interval. Beam energy and current were independently verified using multiple monitor reactions, following established activation procedures [1].

Particular attention was given to the analytical separation of overlapping γ -ray peaks, notably for ^{67}Cu and ^{67}Ga , which share identical γ energies. An intensity-ratio-based peak decomposition method was applied, enabling reliable extraction of cumulative cross sections without radiochemical separation [2]. The reported values represent cumulative production from all stable zinc isotopes.

The measured excitation functions show overall agreement with previously published data [3–5], while deviations in selected energy regions highlight the need for continued experimental refinement. Comparisons with TALYS-based evaluations indicate that the model reproduces the general energy dependence but exhibits discrepancies in absolute magnitude for several reaction channels.

The present results contribute to improved nuclear data reliability for zinc targets and support both medical radionuclide production studies and activation assessments relevant to radiation protection and radiochemical applications.

References

- [1] Anees Ahmed, A. (2024). "Excitation functions of proton-induced nuclear reactions on $^{\text{nat}}\text{CaCO}_3$ up to 60 MeV". *Radiat. Phys. Chem.* 214, 111290
- [2] Park, J.K., et al. (2019). "Measurement of cross sections for proton-induced reactions on natural Zn". *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 449, 35–39
- [3] Tárkányi, F., et al. (2005). "Activation cross-sections of long-lived products of proton-induced nuclear reactions on zinc". *Appl. Radiat. Isot.*, 62, 73–81
- [4] Szélecsényi, F., et al. (2005). "New cross-section data for $\text{Zn}(p,x)\text{Ga}$ reactions up to 100 MeV". *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. B*, 234, 375–386
- [5] Asad, M., et al. (2014). "Evaluation of excitation functions for $\text{Zn}(p,x)$ reactions". *Appl. Radiat. Isot.*, 87, 78–84

Plakaty

1. Perspektywy rozwoju technologii reaktorów jądrowych chłodzonych sodem jako elementu nowoczesnego cyklu paliwowego
Prospects for the Development of Sodium-Cooled Nuclear Reactor Technology as an Element of the Modern Nuclear Fuel Cycle
2. Walidacja modelu numerycznego detektora HPGe metodą Monte Carlo
Validation of a Numerical Model of an HPGe Detector Using the Monte Carlo Method
3. Skąd się biorą radiochemicy? Rola nauczyciela akademickiego w kształtowaniu zainteresowań radiochemią
Where do Radiochemists Come from? The Role of Academic Teachers in Sparking Interest in Radiochemistry
4. Stężenie radionuklidów naturalnych i Cs-137 w głębokim profilu glebowym
Concentration of Natural Radionuclides and Cs-137 in Deep Soil Profile
5. Zastosowanie biosorbentów do sorpcji radonu
The Use of Biosorbents for Radon Sorption
6. Optymalizacja metody LSC z elektrolitycznym wzbogacaniem PEM do oznaczania trytu w niskoaktywnych wodach środowiskowych
Optimization of the LSC Method with PEM Electrolytic Enrichment for Tritium Determination in Low-Level Environmental Waters
7. Trwałość wybranych smektytów w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące
Stability of Selected Smectites under Exposure to Ionizing Radiation
8. Analiza zawartości alfa emiterów toru w wybranych produktach tytoniowych
Analysis of Thorium Alpha-Emitter Content in Selected Tobacco Products
9. Ocena radiologiczna zagospodarowania odpadu pyłu tytoniowego jako biowęgli
Radiological Assessment of Tobacco Dust Waste Management through its Conversion into Biochar
10. Analiza zawartości uranu w wodach geotermalnych Islandii
Analysis of Uranium Content in Iceland's Geothermal Waters
11. Stężenie promieniotwórcze radionuklidów U i Pu w próbkach osadów dennych pochodzących z południowego Morza Bałtyckiego
Radioactive Concentrations of Uranium and Plutonium Radionuclides in Bottom Sediment Samples Originating from the Southern Baltic Sea
12. Zawartość ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach powierzchniowych Polski w 2025 roku
Concentrations of ^{137}Cs and ^{90}Sr in Polish Surface Waters in 2025
13. Syntetyzowane z popiołu lotnego zeolity i ich zastosowanie do usuwania radu i baru
Zeolites Synthesized from Fly Ash and their Application for Radium and Barium Removal
14. Nowe materiały odniesienia na potrzeby polskiej energetyki jądrowej
New Reference Materials for the Polish Nuclear Energy Industry
15. Udział IChTJ w ćwiczeniu CMX-8, przeprowadzonym w ramach działalności Międzynarodowej Grupy Roboczej ds. Przeciwdziałania Terroryzmowi i Przestępstwom Nuklearnym (ITWG)
Participation of IChTJ in the CMX-8, Conducted as a part of the Activities of the Nuclear Forensics International Technical Working Group (ITWG)
16. Cs-137 i Sr-90 w wybranych surowcach przemysłu spożywczego
Cs-137 and Sr-90 in selected Raw Materials of the Food Industry
17. Funkcjonalizowane mezoporowate nanocząstki krzemionkowe do kontrolowanej biodystrybucji radioizotopów w medycynie nuklearnej
Functionalized Mesoporous Silica Nanoparticles for Controlled Biodistribution of Radioisotopes in Nuclear Medicine

18. Cs-137 i K-40 w owocnikach grzybów zebranych na terenie Polski w roku 2025
Cs-137 and K-40 in Fruiting Bodies of Fungi Collected in Poland in 2025
19. Właściwości cieplne powłok Cr/CrAl w kontekście rozwoju paliwa jądrowego typu Accident Tolerant Fuel
Thermal Properties of Cr/CrAl Coatings for Advanced Accident Tolerant Fuel Systems
20. Wprowadzenie możliwości k₀-NAA w reaktorze badawczym MARIA
Introducing k₀-NAA Capability in a MARIA Research Reactor
21. Whisky, promieniowanie i środowisko: nowe perspektywy w dozymetrii chemicznej
Whiskey, Radiation, and the Environment: New Perspectives in Chemical Dosimetry
22. Pomiary Rn-222 w wodach z wykorzystaniem spektrometrii ciekłoscyntylacyjnej
Measurements of Rn-222 in Water by Liquid Scintillation Spectrometry
23. Radiochemiczne oznaczanie radionuklidów β-promieniotwórczych w próbkach środowiskowych w ramach monitoringu radiacyjnego obiektów zakwalifikowanych do II kategorii zagrożeń
Radiochemical Determination of Beta-Emitting Radionuclides in Environmental Samples for the Purpose of Radiological Monitoring of Category II Hazard Facilities
24. Monitoring biologiczny personelu pracującego w warunkach narażenia wewnętrznego na tryt
Biological Monitoring of Personnel Working under Conditions of Internal Exposure to Tritium
25. Ślad Czarnobyla czy norma? Dekada badań radioaktywnego cezu u polskiej zwierzyny łownej (2015–2025)
A Trace of Chernobyl or the Norm? A Decade of Research into Radioactive Caesium in Polish Game (2015–2025)
26. Geochemiczna i tafonomiczna interpretacja akumulacji uranu w skamieniałościach: studium przypadku skamieniałych gąbek z Nasiłowa w Polsce
Geochemical and Taphonomic Interpretation of Uranium Accumulation in Fossils: a Case Study of Fossilized Sponges from Nasiłów, Poland
27. Ochrona radiologiczna w Narodowym Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS
Radiation Protection at the National Synchrotron Radiation Centre SOLARIS
28. Izotopy ołowiu ²¹⁰Pb w rybach bałtyckich i słodkowodnych, mięczakach oraz wybranych produktach rybnych w Polsce
Radiolead Isotopes ²¹⁰Pb in Baltic and Freshwater Fish, Mollusks, and Selected Fish Products in Poland
29. Świeże i konserwowane ryby oraz owoce morza jako źródło ²¹⁰Po w diecie ludzi
Fresh and Preserved Fish and Seafood as a Source of ²¹⁰Po in the Human Diet
30. Metody analizy polonu i uranu w próbkach środowiskowych
Methods for the Analysis of Polonium and Uranium in Environmental Samples
31. Analiza zawartości ²¹⁰Po i izotopów uranu w składnikach środowiska poeksploatacyjnego w Sudetach
Analysis of the Content of ²¹⁰Po and Uranium Isotopes in the Components of the Post Mining Environment in the Sudetes
32. Pluton ²⁴¹Pu w Zatoce Gdańskiej i Basenie Gdańskim
Plutonium-241 Inventory in the Gulf of Gdańsk and the Gdańsk Basin
33. Radioanalityczna metoda oznaczania gadolinu ¹⁴⁸Gd w próbkach środowiskowych
Radiochemical Method for the Determination of Gadolinium-148 (¹⁴⁸Gd) in Environmental Samples
34. Sekwencyjne metody radiochemiczne w analizie zawartości ²⁴¹Am w próbkach gleby i osadów morskich
Sequential Radiochemical Analysis of ²⁴¹Am in Soil and Marine Sediments
35. Ocena radioaktywności pieprznika jadalnego (*Cantharellus cibarius*) i jej wpływ na zdrowie człowieka
*Radioactivity Assessment of *Cantharellus Cibarius* and its Implications for Human Health*

36. Teoretyczne badania widm rentgenowskich będące podstawą diagnostyki plazmy tokamakowej
Theoretical Studies of X-Ray Spectra as a Basis for Tokamak Plasma Diagnostics
37. Ocena radiologiczna gleb pod kątem występowania metali ciężkich i emiterów promieniowania gamma
Radiological Assessment of Soil for Heavy Metals and Gamma-Ray Emitters
38. Naturalne sorbenty ze złoża Taganskoye (Wschodni Kazachstan): charakterystyka fizykochemiczna i środowiskowa analiza izotopowa
Natural Sorbents from the Taganskoye Deposit (Eastern Kazakhstan): Physicochemical Characterization and Environmental Isotopic Analysis
39. Radionuklidy naturalne i antropogeniczne w liściach i glebach – badania środowiskowe
Natural and Anthropogenic Radionuclides in Leaves and Soils – Environmental Studies
40. Ocena radiologiczna próbek wody i osadów dennych z rzek Irtysz i Ulba pobranych z okolic miasta Öskemen (Kazachstan)
Radiological Evaluation of Water and Bottom Sediment Samples from the Irtysch and Ulba Rivers Collected from the Vicinity Öskemen City (Kazakhstan)
41. Analiza zawartości radionuklidów gamma promieniotwórczych w profilach glebowych pobranych z terenu dawnego zakładu przerobu rud toru
Analysis of the Content of Radioactive Gamma Radionuclides in Soil Profiles Collected from the site of the Former Thorium Ore Processing Plant
42. Specjacja Cs-137 w profilach glebowych regionu Anomalii Opolskiej
Cs-137 Speciation in Soil Profiles of the Opole Anomaly Area
43. Stężenie radonu Rn-222 w wodach podziemnych i powietrzu Jaskini Niedźwiedziej – wstępna charakterystyka środowiska radiologicznego
Radon (Rn-222) Concentrations in the Groundwater and Air of Niedźwiedzia Cave – a Preliminary Characterization of the Radiological Environment
44. Elektrodepozycja lantanu z roztworów wodnych pod kątem otrzymywania tarcz akceleratorowych
Electrochemical Deposition of Lanthanum from Aqueous Solutions for the Production of Accelerator Targets
45. Badanie struktury i właściwości cienkich warstw toru
Structure and Properties of Thin Thorium Layers
46. Ocena przydatności węgla aktywnego o zmodyfikowanej powierzchni w procesie usuwania wybranych radionuklidów z roztworów wodnych
Assessment of the Suitability of Activated Carbon with a Modified Surface for the Adsorptive Removal of Radionuclides Ions from Aqueous Solutions
47. Polielektrolitowe kompleksy jako sorbenty w procesie usuwania wybranych radionuklidów z roztworów wodnych
Polyelectrolyte Complexes as Sorbents for the Removal of Selected Radionuclides from Aqueous Solutions
48. Zagrożenia terrorystyczne dla infrastruktury jądrowej w świetle współczesnych konfliktów zbrojnych i incydentów bezpieczeństwa
Terrorist Threats to Nuclear Infrastructure in the Light of Contemporary Armed Conflicts and Security Incidents
49. Nowoczesne techniki detekcji i identyfikacji radionuklidów w warunkach zdarzeń o charakterze CBRN: wyzwania dla mobilnych laboratoriów radiochemicznych
Modern Techniques for Radionuclide Detection and Identification in CBRN Contingency Scenarios: Challenges for Mobile Radiochemical Laboratories
50. Novel Lapatinib-Based Conjugates for Labelling with Technetium-99m
51. Adsorption Study of Radioactive Ruthenium onto Selected Mineral Clays: Red Clay, Halloysite and Bentonite

Perspektywy rozwoju technologii reaktorów jądrowych chłodzonych sodem jako elementu nowoczesnego cyklu paliwowego

Anna Bała^{1*}, Mikołaj Oettingen¹, Katarzyna Szarłowicz¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Energetyki Jądrowej i Radiochemii, Kraków

*E-mail: annabala@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: reaktor sodowy, SFR, reaktor prędkości, pluton, powielanie paliwa

Reaktory prędkie chłodzone sodem (Sodium-cooled Fast Reactors - SFR) należą do technologii reaktorów IV generacji. Kluczową ich cechą jest praca na prędkim spektrum neutronów, które umożliwia powielanie paliwa jądrowego poprzez konwersję izotopu ^{238}U do rozszczepialnego izotopu ^{239}Pu . Prędkie neutrony umożliwiają również rozszczepianie wysokoaktywnych aktynowców mniejszościowych obecnych w zużytej paliwie jądrowej, co bezpośrednio prowadzi do redukcji ich masy [1]. Dodatkowo wysoka temperatura wrzenia (ok. 880°C) oraz praca reaktora przy ciśnieniu zbliżonym do atmosferycznego ograniczają ryzyko awarii związanych z utratą chłodziwa.

Technologia ta wiąże się jednak również z wyzwaniami. Konieczność zastosowania pośredniej pętli chłodzącej oraz praca z nieprzeźroczystym i reaktywnym chemicznie chłodziwem stanowią skomplikowane wyzwanie projektowe. Sód reaguje egzotermicznie z wodą oraz powietrzem, co w przypadku wycieku może prowadzić do pożarów. Pełne wykorzystanie potencjału tej technologii wymaga również rozwoju zamkniętego cyklu paliwowego opartego na zaawansowanych metodach recyklingu paliwa, np. pirolizie [1].

Obecnie rozwijanych jest kilka projektów mających na celu demonstrację i dalszy rozwój technologii SFR. Indyjski PFBR (Prototype Fast Breeder Reactor) o mocy 500 MWe stanowi kluczowy element trój etapowego programu energetyki jądrowej Indii, ukierunkowanego na wykorzystanie paliwo-rodnego izotopu toru ^{232}Th [2]. W Stanach Zjednoczonych rozwijany jest demonstracyjny reaktor Natrium o mocy 345 MWe, zintegrowany z systemem magazynowania energii w stopionej soli, umożliwiającym dostarczanie do 500 MWe mocy szczytowej i elastyczne wsparcie systemu elektroenergetycznego [3]. Innym przykładem jest reaktor Aalo-X (10 MWe), projektowany jako instalacja demonstracyjna dla modułów Aalo-1 oraz potencjalne źródło energii dla centrów danych [4].

Reaktory prędkie chłodzone sodem łączą wieloletnie doświadczenie eksploatacyjne z dużym potencjałem dalszego rozwoju. W kontekście rosnącego zainteresowania zamkniętym cyklem paliwowym oraz redukcją masy i radiotoksyczności zużytego paliwa jądrowego, reaktory sodowe mogą stanowić obiecującą alternatywę dla dominujących obecnie technologii reaktorów wodnych.

Podziękowania

Praca została sfinansowana z subwencji badawczej nr 501.00-210000-10000.

Bibliografia

- [1] OECD Nuclear Energy Agency for the Generation IV International Forum. (2014). Technology Roadmap Update. OECD/NEA
- [2] PIB Delhi. (2025). „Parliament Question: Prototype Fast Breeder Reactor”
- [3] World Nuclear News. (2026). TerraPower's Natrium reactor enters UK GDA process
- [4] Chernicoff, D., Vincent, M. (2025). „AALO Atomics NABS 1st U.S. Advanced Nuclear Fuel Deal, Advances XMR Reactor and AI Data Center Plans at INL”

Walidacja modelu numerycznego detektora HPGe metodą Monte Carlo

Maciej Ciepiela^{1*}, Mikołaj Oettingen¹, Katarzyna Szarłowicz¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Energetyki Jądrowej i Radiochemii, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*E-mail: mciepiela@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: spektrometria gamma, detektor HPGe, symulacje Monte Carlo, wydajność detekcji

Celem przedstawionych prac badawczych było opracowanie numerycznego modelu detektora półprzewodnikowego HPGe Canberra BE3830 Broad Energy Germanium Detector na podstawie dostępnych danych konstrukcyjnych [1]. Otrzymany model poddano walidacji w środowisku obliczeniowym RayXpert z wykorzystaniem certyfikowanego materiału odniesienia IAEA-447. Model detektora zbudowano z uwzględnieniem wymiarów aktywnej objętości kryształu germanowego, grubości i materiału okna detektora, geometrii warstwy martwej oraz elementów osłony wykonanych z miedzi i ołowiu. W ramach prac odwzorowano geometrię rzeczywistego układu pomiarowego, w tym objętość próbki materiału referencyjnego IAEA-447. Próbkę zamodelowano jako źródło objętościowe promieniowania gamma z równomiernym rozkładem radionuklidu ¹³⁷Cs w objętości materiału źródłowego. Aktywność próbki wyznaczono na podstawie wartości certyfikowanej dla ¹³⁷Cs z uwzględnieniem masy próbki oraz korekty rozpadu promieniotwórczego do daty pomiaru [2].

Symulacje Monte Carlo przeprowadzono dla linii 661,7 keV radionuklidu ¹³⁷Cs w środowisku RayXpert, koncentrując się na wyznaczeniu wydajności pełnoenergetycznej układu detekcyjnego. W modelu uwzględniono odległość próbki od okna detektora oraz zweryfikowano poprawność geometrii numerycznej poprzez analizę nakładania się elementów modelu [3]. Dla opracowanego modelu uzyskano wartość wydajności pełnoenergetycznej równą $\varepsilon_{\text{sym}}=3,98\%$, podczas gdy średnia wartość wyznaczona na podstawie pomiarów eksperymentalnych wyniosła $\varepsilon_{\text{pom}}=3,61\%$, co odpowiada różnicy względnej około 10,08%.

Uzyskane wyniki wskazują, że przyjęta procedura modelowania umożliwia poprawne odwzorowanie geometrii detektora oraz rzeczywistej konfiguracji pomiarowej, a zgodność wyników symulacyjnych i eksperymentalnych można uznać za zadowalającą w zakresie linii 661,7 keV. Opracowany model stanowi podstawę do dalszych analiz parametrycznych w celu otrzymania większej zgodności z pomiarami spektrometrycznymi, co ostatecznie pozwoli na precyzyjne wyznaczanie wydajności detekcji dla próbek środowiskowych o złożonej geometrii i składzie materiałowym.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze subwencji badawczej nr 501.00-210000-10000.

Bibliografia

- [1] Canberra Industries, Inc. (2004). Germanium Detectors Manual. Canberra Industries, Meriden
- [2] Shakhashiro, A., Tarjan, S., Ceccatelli, A., Kis-Benedek, G., Betti, M. (2012). "IAEA-447: a new certified reference material for environmental radioactivity measurements". Applied Radiation and Isotopes, 70 (8), 1632–1643
- [3] Dray, N., Mary, N., Dossat, C., Bourgoin, J., Chatry, N. (2024). "An overview of last decade's developments in RayXpert®". EPJ Nuclear Sciences & Technologies, 10, 24

Skąd się biorą radiochemicy? Rola nauczyciela akademickiego w kształtowaniu zainteresowań radiochemią

Joanna Dudała^{1*}, Paula Kasprzyk¹, Jagoda Mindak¹, Beata Ostachowicz¹, Lucyna Samek¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

*E-mail: dudala@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: kształcenie radiochemików, radiochemia, chemia jądrowa, ochrona radiologiczna, pracownia izotopowa

Radiochemia i chemia jądrowa są ze sobą ściśle związane. Radiochemię można zdefiniować jako chemię substancji promieniotwórczych i procesów przez nie wywoływanych. Natomiast chemia jądrowa odnosi się do zagadnień związanych z właściwościami jąder atomowych oraz zjawisk w nich zachodzącymi. Zakres zagadnień, którymi zajmują się radiochemia i chemia jądrowa, jest bardzo szeroki, co przekłada się na liczne zastosowania tych dziedzin w nauce, technice, przemyśle czy w medycynie. Warto zauważyć, że osoby wykorzystujące w swojej pracy metody jądrowe i radiochemiczne muszą wykazywać się określonymi kompetencjami.

Ważnym aspektem w pracy radiochemika jest umiejętność pracy z otwartymi źródłami promieniotwórczymi, które mogą występować w postaci stałej, ciekłej lub gazowej. Ze względu na ryzyko rozprzestrzeniania się skażeń promieniotwórczych ważne jest, aby osoby wykonujące czynności ze źródłami promieniotwórczymi miały świadomość odpowiedzialności za bezpieczeństwo swoje, ale też osób z ogółu ludności, a także aby skutecznie stosowały zasady ochrony radiologicznej w swojej pracy.

Takie umiejętności najlepiej trenować w bezpiecznych warunkach, przy stosunkowo niskich aktywnościach substancji promieniotwórczych. Laboratorium radiochemiczne Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej stwarza studentom możliwość pracy z otwartymi źródłami promieniotwórczymi. W ramach ćwiczeń z radiochemii i chemii jądrowej studenci kierunków Fizyka Medyczna i Mikro- i Nanotechnologie w Biofizyce uczą się metod rozdzielania związków zawierających radionuklidy, a także sposobów, w jaki można wykorzystywać metody radioznacznikowe do badań procesów chemicznych [1].

W pracy zaprezentowane zostaną projekty dyplomowe zrealizowane w laboratorium radiochemicznym, których zakres wykraczał poza standardowe ćwiczenia z radiochemii. Kolejne roczniki studentów potwierdzają, że zdobyta wiedza, a przede wszystkim zestaw dobrych praktyk i właściwych nawyków w pracy z otwartymi źródłami promieniotwórczymi, nabytych w laboratorium radiochemicznym, procentuje w ich przyszłej pracy zawodowej. Wielu absolwentów znajduje zatrudnienie w zakładach medycyny nuklearnej, gdzie takie doświadczenie jest nie do przecenienia.

Podziękowania

Autorzy składają serdeczne podziękowania studentom, którzy w latach 2014–2026 realizowali swoje projekty dyplomowe w laboratorium radiochemicznym WFiIS. Ich zaangażowanie, ciekawość badawcza oraz wkład w prowadzone eksperymenty przyczyniły się do rozwoju działalności naukowej laboratorium. W kolejności alfabetycznej są to: Dominika Cygan, Olga Fałowska, Paula Kasprzyk, Michał Kud, Zuzanna Łagowska, Jagoda Mindak, Robert Saladra.

Bibliografia

[1] Samek, L., Dudała, J. (2015). Pracownia radiochemiczna Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH. Wydawnictwa AGH. Kraków

Stężenie radionuklidów naturalnych i Cs-137 w głębokim profilu glebowym

Paweł Jodłowski^{1*}, Szymon Guguła¹, Paweł Jusięga¹, Michał Mazgaj¹, Przemysław Wachniew¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

*E-mail: jodlowski@fis.agh.edu.pl

Słowa kluczowe: radionuklidy naturalne, Cs-137, profil glebowy, spektrometria gamma

Dokonano pomiarów stężenia radionuklidów naturalnych i Cs-137 w dwóch głębokich profilach glebowych o długości 3 m, pobranych w okolicach Krakowa. Otrzymane wyniki pozwoliły wyciągnąć wnioski na temat pionowego rozkładu stężenia aktywności badanych radionuklidów.

W profilu A stwierdzono w miarę jednorodny rozkład K-40, Ra-226, Th-232 w profilu glebowym. Cs-137 zdeponowany jest na głębokości do 50 cm.

W profilu B, obraz jest zupełnie inny. Na głębokości powyżej 120 cm stężenie K-40 i Th-232 rośnie znacząco, a Ra-226 maleje, przy czym zmiany te są wyraźnie skorelowane. Cs-137 zdeponowany jest na głębokości do 105 cm.

Podziękowania

„Praca została częściowo sfinansowana ze środków subwencji na naukę przyznanej przez Akademię Górniczo-Hutniczą im. Stanisława Staszica w Krakowie [grant nr 16.16.220.842]”

Bibliografia

- [1] Guguła, S. (2014). "Pomiary zawartości Pb-210 w wybranych warstwach profilu glebowego". Praca inżynierska. Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków
- [2] Mazgaj, M. (2023). "Stężenie radionuklidów naturalnych i sztucznych w głębokim profilu glebowym". Praca dyplomowa. Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków
- [3] Jusięga, P. (2024). "Wyznaczenie stężenia Pb-210 w głębokich profilach glebowych". Projekt dyplomowy. Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

Zastosowanie biosorbentów do sorpcji radonu

Grzegorz Jodłowski^{1*}, Marcin Stobiński¹, Marta Wójcik¹, Katarzyna Szarłowicz¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

*E-mail: jodlowski@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: biosorbenty, radon, ochrona radiologiczna

Zastosowanie adsorbentów do usuwania radioizotopów z fazy gazowej i ciekłej stanowi istotny kierunek rozwoju technologii środowiskowych i radiochemicznych. Szczególne znaczenie ma wychwytywanie radonu (^{222}Rn), będącego szlachetnym gazem promieniotwórczym, którego obecność w powietrzu wiąże się z podwyższonym ryzykiem zdrowotnym. W praktyce najczęściej stosowanymi materiałami są węgle aktywne, których wysoka powierzchnia właściwa oraz rozwinięta struktura mikroporów umożliwiają efektywną adsorpcję radonu poprzez oddziaływania fizyczne typu van der Waalsa [1]. Wykazano, że optymalizacja średnicy porów (rzędu $\sim 0,5\text{--}2$ nm) znacząco zwiększa współczynnik adsorpcji radonu [2], a domieszkowanie heteroatomami (np. azotem) lub metalami przejściowymi prowadzi do wzrostu efektywności nawet o ponad 100% względem materiałów niemodyfikowanych [3]. Istotnym trendem badawczym jest wykorzystanie biosorbentów, które wykazują zdolność adsorpcji radonu oraz dobrą regenerowalność [5]. W bieżącej pracy badano z punktu widzenia adsorpcji radonu biosorbenty przygotowane wcześniej przez pirolizę i aktywację za pomocą CO_2 w temperaturze 850°C . Do produkcji biosorbentów wykorzystano następujące materiały: skórkę pomarańczową (OPA), odpady z tworzywa PET (PET), goździki odpadowe (CRCA) oraz łuski szyszek świerkowych (PCA).

Pomiar absorpcji ^{222}Rn prowadzono poprzez przygotowanie jednakowych objętości badanych biosorbentów i umieszczenie ich w naczyniu o objętości 5dm^3 wypełnionego ^{222}Rn o stężeniu $3,5\text{ kBq/dm}^3$ ($6 \cdot 10^{-13}\text{ g/dm}^3$) na okres 4 godzin. Stężenie promieniotwórcze ^{222}Rn oznaczono za pomocą urządzenia RAD-7. Następnie wykonano pomiary aktywności sorbentów na detektorze scyntylicyjnym (RUM-2) z zastosowaniem studzienkowego scyntyлятора NaI (TI). Otrzymane wyniki przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Adsorpcja ^{222}Rn w biosorbentach.

Próbka	Masa [g]	CPS [s^{-1}]	CPS/g [s^{-1}g]
PCA	0,327	729	2 230
CRCA	0,605	333	551
PET	0,836	548	656
OPA	0,374	419	1 121

Biosorbent PCA ma największy potencjał adsorpcji radonu, a następnie OPA. Jest to efekt naturalnej porowatości surowca, która została rozbudowana poprzez aktywację.

Podziękowania

Praca sfinansowana z subwencji badawczej nr 501.00-210000-10000.

Bibliografia

- [1] Bocanegra, R., Hopke, P.K. (1988). "Radon adsorption on activated carbon and the effect of some airborne contaminants". *Science of The Total Environment* 76:193–202
- [2] Li, C., Zhang, Y., Lv, L., et. al. (2024). "Study on the radon adsorption capability of low-background activated carbon". *J Radioanal Nucl Chem* 333:337–346
- [3] Siyv, Li., Guoqing, Liu., et. al. (2025). "Adsorption characteristics of radon on pre-oxidized nitrogen-doped activated carbon". *New Journal of Chemistry* 49:20392–20402
- [4] Li, C., Zhang, Y., Lv, L., et. al. (2024). "Study on the radon adsorption capability of low-background activated carbon". *J Radioanal Nucl Chem* 333:337–346

Optimalizacja metody LSC z elektrolitycznym wzbogacaniem PEM do oznaczania trytu w niskoaktywnych wodach środowiskowych

Joanna Najman^{1*}, Katarzyna Szarłowicz¹, Filip Jędrzejek¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Energetyki Jądrowej i Radiochemii, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

*E-mail: najman@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: tryt, PEM, energetyka jądrowa, LSC, ocena narażenia radiologicznego, monitoring środowiskowy

Tryt (³H) jest radioizotopem kosmogenicznym produkowanym naturalnie w górnej warstwie atmosfery ziemskiej. Znaczące ilości trytu antropogenicznego zostały wprowadzone do środowiska w wyniku prób z bronią jądrową oraz działalności obiektów jądrowych, w tym elektrowni jądrowych [1, 2]. Ze względu na zdolność do wbudowywania się w cząsteczki wody i związki organiczne, tryt może stanowić źródło wewnętrznego narażenia radiologicznego, co sprawia, że systematyczny monitoring jego stężenia w wodach środowiskowych jest niezbędny dla oceny ryzyka zdrowotnego populacji.

Celem pracy była wstępna optymalizacja metody ciekłoscintylacyjnej (LSC) wspomaganą elektrolitycznym wzbogacaniem PEM (Proton Exchange Membrane) [3] do oznaczania trytu w niskoaktywnych wodach środowiskowych. Pomiary wykonano przy użyciu spektrometru ciekłoscintylacyjnego Hidex 300 SL wyposażonego w system Active Guard. Kalibrację przeprowadzono z wykorzystaniem wzorca pochodzącego z interkalibracji zrealizowanej przez Instytut Chemii i Techniki Jądrowej (ICHTJ) w 2025 roku. Jako blank do wyznaczenia tła pomiarowego zastosowano wodę głębinową pochodzenia glacialnego z rejonu Krakowa (woda beztrytowa). Procedura analityczna obejmowała wstępną destylację próbek w celu usunięcia substancji mogących powodować gaszenie lub zakłócenia podczas pomiaru. Wzbogacanie elektrolityczne zastosowano w celu obniżenia granicy oznaczalności do poziomu wymaganego przy pomiarach środowiskowych. Do akwizycji i analizy danych wykorzystano oprogramowanie MicroWin.

Zastosowanie wzbogacania elektrolitycznego pozwoliło na obniżenie MDA o rząd wielkości w porównaniu z metodą bez wzbogacania. Na obecnym etapie optymalizacji już można stwierdzić, że opracowana procedura stanowi narzędzie do rutynowego oznaczania trytu w wodach środowiskowych i pitnych, umożliwiając ocenę narażenia radiologicznego populacji na poziomach istotnych dla ochrony zdrowia publicznego.

Podziękowania

„Praca została sfinansowana ze środków AGH: subwencja badawcza nr 501.00-210000-10000”

Bibliografia

- [1] Croudace, I.W., Ulanowski, A. (2025). "Tritium in the Environment". IAEA Technical Document; International Atomic Energy Agency: 495, Vienna, Austria
- [2] Rozanski, K., et al. (1991). "Tritium in the global atmosphere: Distribution patterns and recent trends". J. Phys. G: Nucl. Part. Phys., 1991, 17, S523-S536
- [3] Hye Hyun Kim, Jimin Kim, Sangdo Choi, Jiyoung Park, Young Su Noh, Yong Nam Choi, Hyuncheol Kim. (2026). "Proton exchange membrane electrolytic enrichment system and tritium residual ratio curve method for analysis of tritium concentration in seawater". Analytica Chimica Acta, Volume 1383, 15 January 2026, 344898

Trwałość wybranych smektytów w warunkach narażenia na promieniowanie jonizujące

Katarzyna Szarłowicz^{1*}, Filip Jędrzejek¹, Marcin Stobiński¹, Michał Skiba², Mateusz Krzysiek³

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

²Instytut Nauk Geologicznych, Wydział Geografii i Geologii, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

³Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

*E-mail: szarlowi@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: radionuklidy, ^{134}Cs , ^{137}Cs , dekontaminacja, sorbenty, LSC, ICP-MS, monitoring środowiskowy

Radionuklidy pochodzenia antropogenicznego, wyemitowane do środowiska w sposób niekontrolowany, stanowią poważny problem środowiskowy oraz wyzwanie analityczne i technologiczne w ich usuwaniu z obszaru, materiału czy komponentu środowiska. Szczególnie istotne w tym aspekcie są nuklidy o długich okresach połowicznego zaniku np. ^{137}Cs . Zdolność tych radioizotopów do migracji i bioakumulacji w łańcuchach troficznych powoduje, że zanieczyszczenia te charakteryzują się wysoką trwałością i trudnością w eliminacji. Wynika stąd potrzeba poszukiwania nowych i trwałych substancji mogących pełnić rolę sorbentów.

Celem pracy było sprawdzenie stabilności i odporności na promieniowanie jonizujące wybranych minerałów w czasie ekspozycji wynoszącym 24 miesiące. Jako sorbenty wybrano naturalne minerały, smektyty (SCa-3, SAz-2; materiały referencyjne, montmorylonity). Stanowią one bardzo wydajny sorbent dla jonów Cs, stąd sprawdzono czy sorpcja ta jest trwała [1]. Badane minerały poddawano naświetlaniu promieniowaniem jonizującym (^{137}Cs , ZCs-10 IBJ, Świerk, $A_0 = 155.59 \text{ MBq}$) i w odstępach półrocznych sprawdzano ich odporność na promieniowanie jonizujące. Istotnym aspektem jest też emisja promieniowania od już zasorbowanego radionuklidu, stąd też równolegle sprawdzano stabilność sorpcji w narażeniu wewnętrznym ($50\text{kBq } ^{134}\text{Cs}/2\text{g}$ minerału).

Roztwory z naświetlań zewnętrznych wymieniało w odstępach półrocznych i mierzono w nich stężenia jonów Al, Na, Cs (ICP-MS). Roztwory z eksperymentów w narażeniu wewnętrznym, poddawano pomiarom oceny ich promieniotwórczości za pomocą metody ciekłoscyntylacyjnej (LSC). Wyniki dotychczasowych badań potwierdzają nieznaczną obecność jonów Al, Cs, Na w roztworach, jednak ich poziomy nie świadczą jednoznacznie o rozpadzie minerałów. Z kolei w eksperymencie w narażeniu wewnętrznym, zmierzona aktywność promieniotwórcza roztworu stanowi tylko ok. 0,04% pierwotnej aktywności zasorbowanej w mineralu.

Na podstawie dotychczasowych badań można stwierdzić, że minerał zasorbował radionuklid ^{134}Cs i w podanym przedziale czasu nie zaobserwowano jego istotnej desorpcji do roztworu. Napromieniowanie minerału prowadzi do uwalniania jego składników, ale w celu oceny poziomu jego destrukcji planowane są kolejne analizy, m.in. ocena składu mineralogicznego metodą XRD.

Podziękowania

Praca powstała w wyniku realizacji projektu badawczego nr 2021/43/B/ST10/00632 finansowanego przez Narodowe Centrum Nauki.

Bibliografia

[1] The Clay Minerals Society. Physical and chemical data of source clays. Available at: https://clays.org/sourceclays_data/

Analiza zawartości alfa emiterów toru w wybranych produktach tytoniowych

Sylwia Wójcik^{1*}, Marko Štrok², Katarzyna Szarłowicz¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Katedra Energetyki Jądrowej i Radiochemii, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

²Jožef Stefan Institute, Jamova 39, SI, 1000 Ljubljana, Slovenia

*E-mail: sylwojcik@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: izotopy toru, produkty tytoniowe, środowisko

Tytoń jest rośliną uprawną zawierającą liczne substancje chemiczne, w tym także naturalnie występujące radionuklidy. Wśród radionuklidów wykrywanych w tytoniu znajdują się między innymi izotopy toru, które mogą przedostawać się do organizmu człowieka podczas palenia wyrobów tytoniowych. Wdychanie dymu lub aerozolu prowadzi do osadzania się alfa emiterów w drogach oddechowych palacza. Pomimo niewielkiego zasięgu promieniowania alfa, jego wysoka energia może powodować uszkodzenia struktury DNA komórek. Istotną cechą izotopów toru jest ich bardzo długi okres półtrwania, szczególnie w przypadku izotopu ^{232}Th , którego czas połowicznego rozpadu wynosi $1,4 \times 10^{10}$ lat [1]. Długi okres półtrwania powoduje, że tor może kumulować się w glebie, osadach oraz w roślinach, w tym także w roślinach tytoniu.

Celem badań było określenie i ocena poziomu stężenia promieniotwórczego toru w produktach tytoniowych. W badaniach przeanalizowano zawartość izotopów toru w liściach tytoniu, tytoniu z wkładów tytoniowych oraz klasycznych papierosów. Dodatkowo poddano analizie filtry przebadanych wkładów tytoniowych. W analizie zastosowano żywice Teva (TK200Resin) jako metodę rozdzielania i separacji toru, źródło alfa promieniotwórcze wykonano metodą współstrącenia, a pomiaru dokonano w spektrometrze promieniowania alfa (Alfa Analyst Integrated Alpha Spectrometer). W próbkach zidentyfikowano izotopy toru: ^{228}Th , ^{230}Th oraz ^{232}Th . W przeprowadzonych analizach stężenie radioizotopów toru było zróżnicowane, w zależności od analizowanego radioizotopu oraz od rodzaju próbki. Najwyższe stężenie dla ^{228}Th w tytoniu, sięgało wartości $106,4 \pm 5,6 \text{ mBq}\cdot\text{g}^{-1}$. Badania potwierdzają potrzebę analiz toru i określenia ich wpływu na dawkę promieniowania jonizującego jaką otrzymują użytkownicy wyrobów tytoniowych.

W dotychczasowych doniesieniach literaturowych radioizotopy polonu i ołowiu były głównym przedmiotem badań w kontekście narażenia radiologicznego. Istotne znaczenie mają jednak również izotopy toru, ze względu na ich długi okres półtrwania.

Analizy wskazują, że ich zawartość jest znacząca i wnosi istotny wkład do oceny narażenia radiologicznego. Dzięki dużej trwałości w środowisku, izotopy toru mogą pozostawać w glebie przez miliony lat, uczestnicząc w naturalnych cyklach geochemicznych.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków z subwencji dla Wydziału Energetyki i Paliw, AGH w Krakowie projekt 501.00-210000-10000 oraz dofinansowania z działania IDUB D6, 16357.

Bibliografia

- [1] Kubalek, D., Serša, G., Štrok, M., Benedik, L., Jeran, Z. (2016). „Radioactivity of cigarettes and the importance of ^{210}Po and thorium isotopes for radiation dose assessment due to smoking”. *Journal of Environmental Radioactivity*, 155–156, 97–104

Ocena radiologiczna zagospodarowania odpadu pyłu tytoniowego jako biowęgla

Sylwia Wójcik^{1*}, Piotr Rusiniak², Robert Karcz³, Jakub Mokrzycki¹, Katarzyna Szarłowicz¹

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

²Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Geologii, Geofizyki i Ochrony Środowiska, al. A. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

³Instytut Katalizy i Fizykochemii Powierzchni im. Jerzego Habera PAN w Krakowie, ul. Niezapominajek 8, 30-239 Kraków

*E-mail: sylwojcik@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: radionuklidy, pył tytoniowy, biowęgiel, sorbenty, metale ciężkie

Rosnąca ilość odpadów rolniczych i przemysłowych zwiększa zainteresowanie ich zrównoważonym zagospodarowaniem. Pył tytoniowy, będący produktem ubocznym przetwórstwa, dzięki zawartości lignocelulozy i węgla może służyć jako surowiec do produkcji biowęgla. W procesie pirolizy, biomasa ulega rozkładowi, tworząc biowęgiel o porowatej strukturze, który znajduje zastosowanie w oczyszczaniu wody z jonów metali ciężkich oraz zanieczyszczeń organicznych [1].

Celem pracy było poddanie pyłu tytoniowego procesom pirolizy i uzyskanie 4 rodzajów biowęgla. Pył tytoniowy oraz wytworzone z niego biowęgla w temperaturach: 250, 300, 350, oraz 400 °C (czas przebywania 1h), scharakteryzowano poprzez ocenę ich aktywności radiologicznej. Ponadto dokonano analizy zawartości popiołu, części lotnych, wilgotności oraz składu pierwiastkowego (CHNS). Zdolności sorpcyjne biowęgla oceniono na podstawie ich efektywności usuwania metali ciężkich z roztworów wodnych. Badania przeprowadzono z wykorzystaniem modelowego roztworu zawierającego jony Pb, Bi, Cr, Cd oraz Fe o stężeniach 5 ppm i pH 5, przy dawce adsorbentu 1 g·L⁻¹.

Przeanalizowano obecność radionuklidów gamma ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²²⁸Th, ²²⁸Ra, ²²⁶Ra, ²¹⁰Pb, ²³⁸U, ²³⁵U, ²⁴¹Am oraz alfa emitera ²¹⁰Po w pyłe tytoniowym przed i po pirolizie. Proces nie wpłynął na obecność ²¹⁰Po w odpadzie pyłu tytoniowego. Stężenie promieniotwórcze przed pirolizą było w zakresie od 39,2 ± 2,6 do 88,8 ± 5,3 mBq·g⁻¹, a po pirolizie w zakresie 49,0 ± 3,2 do 74,2 ± 4,3 mBq·g⁻¹. W przypadku gamma radionuklidów, procesy pirolizy wpłynęły na zmniejszenie stężenia promieniotwórczego ¹³⁷Cs, ale odnotowano wzrost stężenia promieniotwórczego dla ²¹⁰Pb [2]. Otrzymane biowęgla wykazały się zwiększoną zawartością pierwiastka C w porównaniu z pyłem tytoniowym oraz bardzo wysoką skutecznością usuwania zanieczyszczeń osiągającą nawet 100% wydajności.

Uzyskane wyniki wskazują, że odpadowy pył tytoniowy można skutecznie wykorzystać do wytwarzania biowęgla o wysokiej zdolności sorpcyjnej względem metali ciężkich. Ponadto procesy pirolizy mają wpływ na zawartość gamma radionuklidów w pyłe tytoniowym. Do bardziej szczegółowego określenia wpływu procesów pirolizy na pył tytoniowy, konieczne są dalsze badania.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane z subwencji dla Wydziału Energetyki i Paliw, AGH w Krakowie 501.00-210000-10000.

Bibliografia

- [1] Mokrzycki, J., Gazińska, M., Fedyna, M., Karcz, R., Lorenc-Grabowska, E., Rutkowski, P. (2020). „Pyrolysis and torrefaction of waste wood chips and cone-like flowers derived from black alder (*Alnus glutinosa* L. Gaertn.) for sustainable solid fuel production”. *Biomass and Bioenergy*, t. 143, s. 105842
- [2] Stobiński, M., Jędrzejek, F., Kubica, B. (2018). "Preliminary studies on the spatial distribution of artificial ¹³⁷Cs and natural gamma radionuclides in the region of the Ojców National Park, Poland". *Nukleonika* 63(4):105-111

Analiza zawartości uranu w wodach geotermalnych Islandii

Dawid Baron¹, Alicja Jagielska¹, Urszula Kasprzyk¹, Daria Klimaszewska¹, Natalia Michalik¹, Marcin Momot¹, Piotr Mróz¹, Kamil Raszka³, Witold Rudziński¹, Jakub Bartyzel¹, Filip Jędrzejek^{2*}, Beata Ostachowicz¹, Katarzyna Szarłowicz²

¹Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Kraków

²Akademia Górniczo-Hutnicza, Wydział Energetyki i Paliw, Kraków

³Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

*E-mail: jedrzejek@agh.edu.pl

Słowa kluczowe: Islandia, radionuklidy, geotermia, woda, uran, UTEVA, radiochemia

Islandia należy do krajów o wyjątkowo wysokiej aktywności geotermalnej, a sama geotermia stanowi istotny element jej gospodarki, znajdując zastosowanie m.in. w produkcji energii, ciepłownictwie, rekreacji, rolnictwie i przemyśle [1]. Szerokie wykorzystanie wód geotermalnych wiąże się jednak z koniecznością oceny ich bezpieczeństwa środowiskowego i radiologicznego, ponieważ w wodach tych mogą występować radionuklidy związane z procesami geologicznymi zachodzącymi w skorupie ziemskiej [1,2].

Celem pracy było określenie i oszacowanie stężenia promieniotwórczego izotopów uranu w pobranych wodach geotermalnych. Materiał badawczy stanowiły próbki pobrane podczas ekspedycji badawczej członków Studenckiego Koła Naukowego Fizyków „Bozon” (WFiIS AGH), przeprowadzonej we wrześniu 2025 roku na terenie Islandii. Próbkę zbierano z obszarów geotermalnych zlokalizowanych w różnych częściach wyspy.

W ramach analiz laboratoryjnych, prowadzonych na Wydziale Energetyki i Paliw AGH, uran separowano z badanych próbek wód z zastosowaniem żywicy ekstrakcyjnej UTEVA [3]. Po etapie separacji jego zawartość oznaczano metodą ciekłej scyntylicacji. Zastosowane postępowanie analityczne umożliwiało selektywne wydzielenie uranu z matrycy wodnej i ograniczenie wpływu interferencji od innych radioizotopów. Oznaczone stężenie promieniotwórcze ²³⁸U mieściło się w zakresie 14,2±2,3 – 258±10 mBq·kg⁻¹, gdzie większość próbek charakteryzowała się wartościami rzędu 20–30 mBq·kg⁻¹. Natomiast pojedyncze wyższe wartości mogą wynikać z lokalnych uwarunkowań geochemicznych. Uzyskane wyniki mogą stanowić podstawę do dalszych analiz geochemicznych badanych źródeł geotermalnych oraz posłużyć do oceny ich potencjalnego wpływu na środowisko i zdrowie człowieka.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków przyznanych w ramach grantu IDUB / 12666.

Autorzy dziękują Zespołowi Fizyki Środowiska Wydziału Fizyki i Informatyki Stosowanej AGH za wsparcie merytoryczne udzielone zarówno na etapie przygotowania, jak i realizacji projektu oraz towarzyszących mu analiz.

Bibliografia

- [1] Drabik, A., Sowiżdżał, A., Tomaszewska, B. (2016). "Doświadczenia Islandii w zakresie wykorzystania niskotemperaturowych zasobów energii geotermalnej". Technika Poszukiwań Geologicznych, Geotermia, Zrównoważony Rozwój, 1
- [2] Kadko, D., Gronvold, K., Butterfield, D. (2007). "Application of radium isotopes to determine crustal residence times of hydrothermal fluids from two sites on the Reykjanes Peninsula, Iceland". Geochimica et Cosmochimica Acta, 71
- [3] Eichrom Technologies LLC. (2014). Uranium in Water. Analytical Procedure ACW02, Revision 1.4

Stężenie promieniotwórcze radionuklidów U i Pu w próbkach osadów dennych pochodzących z południowego Morza Bałtyckiego

Małgorzata Dziubaltowska ^{1*}

¹Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Zakład Higieny Radiacyjnej
ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

*E-mail: m.dziubaltowska@clor.waw.pl

Słowa kluczowe: $^{239+240}\text{Pu}$, ^{234}U , ^{235}U , ^{238}U , Morze Bałtyckie, monitoring

Monitoring stężeń promieniotwórczych radionuklidów plutonu i uranu w środowisku stanowi istotny element oceny długoterminowego oddziaływania działalności jądrowej oraz globalnego opadu promieniotwórczego. Ze względu na długi okres połowicznego zaniku, radionuklidy te mogą pozostawać w środowisku przez dziesiątki tysięcy lat, ulegając jednocześnie procesom migracji i redystrybucji w różnych komponentach ekosystemu. W tej pracy pomiary stężeń promieniotwórczych przeprowadzono w osadach dennych Morza Bałtyckiego pochodzących z sześciu lokalizacji, których położenie przedstawione zostało na Rysunku 1.



Rysunek 1. Lokalizacje, z których pobrano próbki osadów dennych do oznaczeń stężeń promieniotwórczych izotopów U i Pu

Oznaczanie wykonano przy użyciu metod radiochemicznych zakończonych pomiarem spektrometrycznym promieniowania α . Otrzymane wyniki nie wskazują, na nowe źródła zanieczyszczeń tymi radionuklidami, niemniej należy kontynuować program monitoringowy południowego Morza Bałtyckiego, aby zapewnić bieżącą ocenę stanu środowiska morskiego oraz wczesne wykrywanie potencjalnych zmian.

Podziękowania

Badania zostały sfinansowane i zlecone przez Państwową Agencję Atomistyki.

Zawartość ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach powierzchniowych Polski w 2025 roku

M. Kardaś^{1*}, M. Kazimierowicz¹, M. Dziubałowska¹, A. Fulara¹

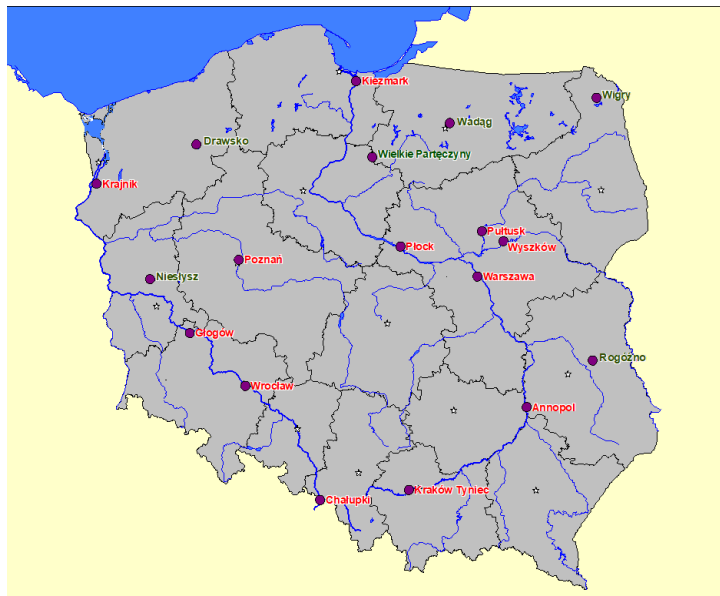
¹Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Zakład Higieny Radiacyjnej,
ul. Konwaliowa 7, 03-194 Warszawa

*E-mail: kardas@clor.waw.pl

Słowa kluczowe: ^{137}Cs , ^{90}Sr , monitoring skażeń promieniotwórczych

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód śródlądowych w Centralnym Laboratorium Ochrony Radiologicznej prowadzony jest od 1992 roku. W ramach monitoringu, między innymi, prowadzone są oznaczenia izotopów ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodzie.

Monitoring skażeń promieniotwórczych wód powierzchniowych w roku 2025 obejmował jesienny i wiosenny pobór próbek wody w 18 punktach: 7 punktów poboru zlokalizowanych w dorzeczu Wisły, 5 punktów poboru w dorzeczu Odry i 6 punktów na wybranych jeziorach.



Rysunek 1. Usytuowanie miejsc poboru wód.

Stężenie promieniotwórcze ^{137}Cs i ^{90}Sr w wodach oznaczano metodami radiochemicznymi.

Ocena skażeń promieniotwórczych na podstawie wyników uzyskanych w poszczególnych lokalizacjach wiosną i jesienią przysparza trudności ze względu na różniące się warunki atmosferyczne i hydrologiczne, dlatego do ogólnej oceny sytuacji radiologicznej wzięto pod uwagę wartości średnie roczne, ponieważ te odzwierciedlają najlepiej ogólny poziom skażeń badanego środowiska.

Zarówno średnie roczne stężenia promieniotwórcze badanych nuklidów jak i dane uzyskane dla pojedynczych próbek badanej wody nie odbiegają od wyników uzyskiwanych w poprzednich latach i pozostają na niskim poziomie.

Podziękowania

Praca wykonana na zlecenie GIOŚ z funduszy NFOŚiGW.

Syntetyzowane z popiołu lotnego zeolity i ich zastosowanie do usuwania radu i baru

Krzysztof Samolej^{1*}, Wojciech Galios¹, Agata Grygier¹, Rafał Panek²

¹Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej, Katowice

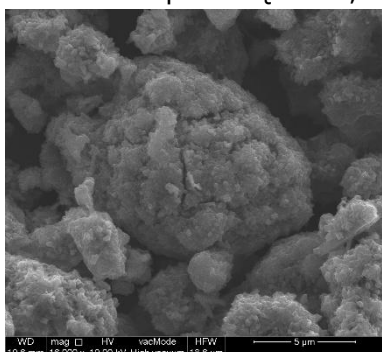
² Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Lublin

*E-mail: ksamolej@gig.eu

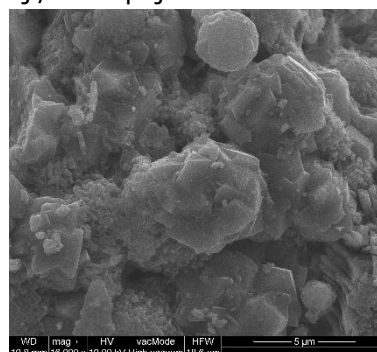
Słowa kluczowe: zeolity, popiół lotny, promieniotwórczość, wody kopalniane

Metale ziem alkalicznych, takie jak bar i rad, mogą akumulować się w organizmach żywych, stwarzając poważne zagrożenie dla zdrowia człowieka i ekosystemów. Narażenie na bar może prowadzić do ciężkich zaburzeń żołądkowo-jelitowych, sercowo-naczyniowych oraz neurologicznych [1]. Rad należy do najbardziej radiotoksycznych pierwiastków występujących w środowisku. Po przedostaniu się do organizmu zastępuje wapń w kościach i zębach, a jego eliminacja zachodzi wyłącznie poprzez rozpad promieniotwórczy, co może prowadzić do poważnych skutków zdrowotnych, w tym nowotworów kości oraz zaburzeń hematologicznych [2]. Uwalnianie tych pierwiastków do środowiska, szczególnie wraz z wodami przemysłowymi takimi jak słone wody kopalniane, stanowi istotny problem ekologiczny, dlatego skuteczne usuwanie ich z systemów wodnych jest niezbędne.

W przeprowadzonych eksperymentach zbadano i porównano zdolności sorpcyjnych zeolitów syntetycznych NaP1 oraz NaX, otrzymanych w wyniku syntezy hydrotermalnej z popiołów lotnych [3]. W celu określenia składu mineralogicznego, analiz chemicznych w wybranych mikroobszarach powierzchni oraz właściwości teksturalnych, wykonano badania zeolitów za pomocą: XRD, SEM-EDS, adsorpcji/desorpcji N₂.



Rysunek 1. Zdjęcie SEM zeolitu NaP1



Rysunek 2. Zdjęcie SEM zeolitu NaX

Badania wydajności usuwania baru i radu z roztworów wodnych, ze szczególnym uwzględnieniem procesu oczyszczania rzeczywistych, słonych wód kopalnianych, oraz syntetycznych roztworów przygotowanych z wody destylowanej i chlorku baru przeprowadzono metodą testów batch.

Podziękowania

Praca została sfinansowana ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, w programie LIDER XIII, numer projektu LIDER13/0190/2022.

Bibliografia

- [1] USEPA. (2009). "National Primary Drinking Water Regulations". EPA 816-F-09-004, USA
- [2] Matyskin, A.V., Hansson, N.L., Brown, P.L., et al. (2017). "Barium and Radium Complexation with Ethylenediaminetetraacetic Acid in Aqueous Alkaline Sodium Chloride Media". J Solution Chem 46, 1951–1969. <https://doi.org/10.1007/s10953-017-0679-7>
- [3] Wdowin, M., Franus, M., Panek, R., Badura, L., Franus, W. (2014). "The Conversion Technology of Fly Ash into Zeolites". Clean Technol. Environ. Policy 16, 1217–1223

Nowe materiały odniesienia na potrzeby polskiej energetyki jądrowej

Ewelina Chajduk*, Paweł Kalbarczyk, Marta Pyszynska, Zbigniew Samczyński

Instytut Chemii i Techniki Jądrowej w Warszawie, Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych, Warszawa

*E-mail: e.chajduk@ichtj.waw.pl

Słowa kluczowe: analiza radiochemiczna, materiały odniesienia, spójność pomiarowa

Zatwierdzony i wdrażany rozwój energetyki jądrowej w Polsce wiąże się m.in. z powstawaniem nowych laboratoriów monitorujących zawartość radionuklidów w środowisku, rozwojem potencjału analitycznego, kształceniem kadr itp. Również obecna, niepewna sytuacja polityczna w naszym regionie, wymaga posiadania potwierdzonych kompetencji do oznaczania radionuklidów w przypadkach zagrożenia/wystąpienia terroryzmu jądrowego/nielegalnego posiadania izotopów.

Aby móc realizować te zadania, analitycy zajmujący się analizami radiochemicznymi muszą posiadać odpowiednie narzędzia, jakimi są materiały odniesienia o różnej randze metrologicznej [1]. Materiały odniesienia RM i certyfikowane materiały odniesienia CRM są szeroko wykorzystywane w laboratoriach chemicznych zapewniając w ten sposób spójność pomiarową.

Celem przedstawionych prac jest ocena możliwości wytwarzania i certyfikacji nowych certyfikowanych materiałów odniesienia stosowanych w analizach radionuklidów w różnych matrycach (woda, gleba, żywność) na potrzeby laboratoriów analitycznych.

W ramach projektu przygotowano 5 materiałów o różnej zawartości wybranych izotopów:

1. H-3 w wodzie
2. Am-241, Ra-226, Ba-133, Cs-137 w wodzie
3. Am-241, Ba-133, Co-60, Cs-137 w piasku
4. Am-241, Ba-133, Co-60, Cs-137 w suszu roślinnym
5. Ruda uranowa pobrana z Sudetów- aktywność izotopów naturalnych

Cztery materiały zostały przygotowane poprzez dotowanie wybranych matryc odpowiednimi ilościami izotopów promieniotwórczych. Do rudy uranowej, pobranej z hałd po zamkniętej kopalni uranu, nie zostały dodawane żadne izotopy. Materiały zostały odpowiednio rozdrobnione i zhomogenizowane. Przygotowane materiały analizowano w wybranych, eksperckich laboratoriach radiochemicznych, a otrzymane wyniki poddano analizie statystycznej.

Wyniki projektu Polska Metrologia II potwierdzają, że przyjęty sposób postępowania przy przygotowaniu i certyfikacji materiałów odniesienia dla laboratoriów radiochemicznych spełnia swoje założenia.

Podziękowania

„Praca została sfinansowana z projektu Ministra Nauki „Polska Metrologia II”, nr PM-II/SN/120/2024/022”

Bibliografia

[1] Inn, K.G.W., Johnson, C.M., Oldham, W. (2013). “The urgent requirement for new radioanalytical certified reference materials for nuclear safeguards, forensics, and consequence management”. J Radioanal Nucl Chem 296, 5–22

Udział IChTJ w ćwiczeniu CMX-8, przeprowadzonym w ramach działalności Międzynarodowej Grupy Roboczej ds. Przeciwdziałania Terroryzmowi i Przesłępstwom Nuklearnym (ITWG)

Ewa Topyła^{1*}, Paweł Kalbarczyk¹, Ewelina Chajduk¹, Bożena Sartowska²

¹Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Laboratorium Jądrowych Technik Analitycznych, Warszawa

²Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Laboratorium Badań Materiałowych, Warszawa

*E-mail: e.topyla@ichtj.waw.pl

Słowa kluczowe: kryminalistyka jądrowa, materiały jądrowe, spektrometria gamma, spektrometria mas, skaningowa mikroskopia elektronowa

Kryminalistyka jądrowa stanowi istotny element systemu bezpieczeństwa jądrowego, umożliwiając identyfikację, charakterystykę oraz ocenę pochodzenia materiałów promieniotwórczych zabezpieczonych poza kontrolą regulacyjną. Rozwój tej dziedziny był odpowiedzią na przypadki nielegalnego obrotu materiałami jądrowymi odnotowane w latach 90. XX wieku. Obecnie kluczową rolę w koordynacji współpracy laboratoriów na świecie odgrywa Międzynarodowa Grupa Robocza ds. Przeciwdziałania Terroryzmowi i Przesłępstwom Nuklearnym (ITWG), która organizuje cykliczne ćwiczenia porównawcze Collaborative Materials Exercises (CMXs). Ich celem jest trening kompetencji laboratoriów, weryfikacja procedur analitycznych oraz doskonalenie zdolności interpretacyjnych w warunkach zbliżonych do rzeczywistych zdarzeń [1-4].

W pracy przedstawiono analizę czterech metalicznych próbek materiału dowodowego, wykonaną w ramach ćwiczenia CMX-8. Zakres badań obejmował m.in. charakterystykę fizyczną, analizę składu pierwiastkowego i izotopowego techniką ICP-MS oraz spektrometrię promieniowania gamma z wykorzystaniem detektora HPGe.

Analiza ICP-MS umożliwiła określenie zawartości pierwiastków śladowych, dostarczając informację o potencjalnych korelacjach między próbkami oraz ich sygnaturze technologicznej i geologicznej. Badania składu izotopowego uranu wykazały zróżnicowanie materiałów pod kątem zawartości rozszczepialnego ²³⁵U. Wyniki spektrometrii gamma potwierdziły obserwacje uzyskane metodą ICP-MS oraz pozwoliły na identyfikację charakterystycznych linii promieniowania związanych z szeregiem rozpadu uranu.

Uzyskane wyniki potwierdzają skuteczność zintegrowanego, wieloetapowego podejścia analitycznego w kryminalistyce jądrowej. Udział w ćwiczeniach CMX stanowi istotny element budowania i utrzymywania kompetencji laboratoryjnych, umożliwia porównanie wyników z innymi ośrodkami na świecie oraz wzmacnia międzynarodową współpracę w zakresie przeciwdziałania nielegalnemu obrotowi materiałami jądrowymi.

Podziękowania

Praca została częściowo sfinansowana ze środków IAEA RC 28088 „Critical Comparison of Nuclear and Non-Nuclear Analytical Techniques for the Determination of Uranium and Plutonium Isotopic Composition in Nuclear and Radioactive Materials”.

Bibliografia

- [1] Mayer, K., Wallenius, M., Fanghänel, T. (2007). “Nuclear forensic science—From cradle to maturity”. *J. Alloys Compd.*, 444-445, 50-56
- [2] International Technical Working Group (ITWG). (2022). ITWG Nuclear Forensics Update No. 25, December 2022
- [3] Garretta, B.C., Mayer, K., Thompson, P., Pong, B.K., Lasou, G. (2014). “The Nuclear Forensics International Technical Working Group (ITWG). An Overview”. Vienna. IAEA
- [4] IAEA. (2006). “Nuclear Forensics Support”. Nuclear Security Series No. 2. Vienna

Cs-137 i Sr-90 w wybranych surowcach przemysłu spożywczego

Sylwia Błazej^{1*}, Jerzy W. Mietelski¹, Renata Kierepko¹

¹Institut Fizyki Jądrowej Polskiej Akademii Nauk, Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków, Polska

*E-mail: sylwia.blazej@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: Sr-90, Cs-137, surowce spożywcze

Laboratorium Analiz Promieniotwórczych (LAP) działające w Instytucie Fizyki Jądrowej PAN (IFJ PAN) wykonuje badania stężeń aktywności ¹³⁷Cs ($T_{1/2}=30,01$ lat) i ⁹⁰Sr ($T_{1/2}=28,86$ lat) w produktach spożywczych pochodzenia roślinnego od 2012 r. Obecność obydwu izotopów w środowisku związana jest z działalnością człowieka, w tym przede wszystkim z testami broni jądrowej i uwolnieniami z instalacji jądrowych np. w wyniku awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu (1986 r.). Znaczenie wykonywanych badań jest tym większe, że oba izotopy po wnikięciu do organizmu człowieka (drogą pokarmową, oddechową lub przez nieciągłości skóry) gromadzą się selektywnie w określonych jego organach. Cs jest zaliczany do metali alkalicznych 1 grupy układu okresowego i wykazuje szereg właściwości chemicznych podobnych do K. Jego obecność stwierdzono w tkankach miękkich i mięśniach. Natomiast Sr, który podobnie jak Ca należy do grupy berylowców wchodzi w skład kości.

Oznaczenia ¹³⁷Cs i ⁹⁰Sr w produktach spożywczych w LAP IFJ PAN wykonuje się przy użyciu metod pomiarowych zgodnych z wymaganiami normy PN-EN ISO/IEC 17025:2018. W przypadku ¹³⁷Cs jest to niskotłowa spektrometria promieniowania gamma zaś w przypadku ⁹⁰Sr jest to procedura radiochemiczna z wydzieleniem Sr na kolumnie Sr- Resin (Triskem) i ciekłoscyntylacyjna spektrometria promieniowania beta uzupełniona o niskotłową spektrometrię promieniowania gamma w celu wyznaczenia wydajności chemicznej zastosowanej procedury radiochemicznej w oparciu o znacznik izotopowy ⁸⁵Sr ($T_{1/2}=64,85$ d) wytwarzany w IFJ PAN przy użyciu cyklotronu AIC144.

Na konferencji zostaną przedstawione wyniki badań dla w/w izotopów w produktach spożywczych analizowanych w LAP IFJ PAN w latach 2012-2024. Uzyskane wartości były znacznie niższe niż maksymalne wartości dozwolonych poziomów skażeń promieniotwórczych żywności i pasz określonych w rozporządzeniu EURATOM 2016/52 z dnia 15 stycznia 2016 (Dz.U.U.E.L.2016.13.2).

Funkcjonalizowane mezoporowate nanocząstki krzemionkowe do kontrolowanej biodystrybucji radioizotopów w medycynie nuklearnej

Magdalena Laskowska^{1*}

¹Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

*E-mail: magdalena.laskowska@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: mezoporowata krzemionka, nanonośniki, funkcjonalizacja powierzchni, grupy karboksylowe, fosfonianowe, tiolowe, chelatory, biodystrybucja, medycyna nuklearna

Mezoporowate nanocząstki krzemionkowe (MSN) stanowią obiecującą platformę do celowanego dostarczania radioizotopów, łącząc wysoką powierzchnię właściwą, kontrolowaną porowatość oraz łatwość modyfikacji chemicznej z możliwością kształtowania farmakokinetyki i biodystrybucji [1,2]. W niniejszej pracy przedstawiamy koncepcję modułowej funkcjonalizacji MSN grupami koordynującymi oraz grupami kotwiczącymi, które umożliwiają stabilne wiązanie wybranych radionuklidów terapeutycznych i diagnostycznych oraz ograniczenie ich niepożądaną redystrybucji *in vivo* [3]. Zastosowane modyfikacje powierzchni obejmują grupy karboksylowe, fosfonianowe i tiolowe, a także podejście oparte o przyłączanie bifunkcyjnych chelatorów. Pokazujemy, w jaki sposób świadomy dobór chemii powierzchni może posłużyć do projektowania nośników o przewidywalnej stabilności kompleksu, kontrolowanej biodystrybucji i pożądanym profilem wychwytu narządowego.

Zakres badań charakteryzujących otrzymane materiały obejmuje transmisyjną mikroskopię elektronową (TEM), izotermiczną sorpcję azotu oraz spektroskopię Ramana. Obrazy TEM pozwoliły na określenie morfologii oraz rozkładu wielkości cząstek, natomiast izotermy sorpcji N₂ dostarczyły kluczowych parametrów porowatości (m.in. powierzchni właściwej i rozkładu wielkości porów), determinujących pojemność nośnika i dostępność miejsc wiązania. Z kolei spektroskopia Ramana została wykorzystana do potwierdzenia obecności oraz struktury molekularnej wprowadzanych grup funkcyjnych, weryfikując skuteczność i powtarzalność procedur funkcjonalizacji powierzchni. Proponowana strategia łączy elementy radiochemii, inżynierii powierzchni i nanomedycyny, tworząc podstawy do racjonalnego doboru par radionuklid–funkcjonalizacja oraz projektowania systemów dostarczania leków opartych na nanocząstkach krzemionkowych, służących do kontrolowanej biodystrybucji radioizotopów.

Bibliografia

- [1] Sá, L. T. M., Pessoa, C., Meira, A. S., Da Silva, M. I. P., Missailidis, S., Santos-Oliveira, R. (2012). "Development of nanoaptamers using a mesoporous silica model labeled with 99mTc for cancer targeting". *Oncology*, 82(4), 213-217
- [2] Pallares, R. M., et.al. (2020). "Engineering mesoporous silica nanoparticles for targeted alpha therapy against breast cancer". *ACS applied materials & interfaces*, 12(36), 40078-40084
- [3] Laskowska, M., Pastukh, O., Fedorchuk, A., Schabikowski, M., Kowalczyk, P., Zalaśński, M., Laskowski, Ł. (2020). „Nanostructured silica with anchoring units: the 2D solid solvent for molecules and metal ions”. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(21), 8137

Cs-137 i K-40 w owocnikach grzybów zebranych na terenie Polski w roku 2025

Mikołaj Wielgat^{1*}, Jerzy W. Mietelski¹

¹Institut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego Polskiej Akademii Nauk, Kraków

*E-mail: mikolaj.wielgat@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: Cs-137, K-40, grzyby, spektrometria gamma

Aktywność radionuklidów w środowisku leśnym stanowi istotny element oceny długoterminowych skutków depozycji produktów rozszczepienia po awariach jądrowych, takich jak awaria elektrowni jądrowej w Czarnobylu, a także globalnego opadu promieniotwórczego powstałego w wyniku testów broni jądrowej. Grzyby leśne, dzięki rozwiniętej grzybni i zdolności do akumulacji pierwiastków chemicznie analogicznych do potasu, mogą efektywnie kumulować zarówno radionuklidy naturalne, jak i antropogeniczne [1,2]. Celem pracy było określenie aktywności radiocezu (Cs-137) oraz K-40 w owocnikach wybranych gatunków grzybów zebranych na terenie Polski w 2025 roku.

Materiał badawczy stanowiło 38 próbek owocników dziko rosnących grzybów zebranych w wybranych obszarach leśnych Polski. Po wstępnej preparatyce próbki poddano suszeniu i homogenizacji, a część z nich została spopielenona w celu zmniejszenia objętości materiału oraz zateżenia badanych radionuklidów. Aktywność oznaczono metodą spektrometrii gamma (HPGe), na podstawie linii energetycznych: 662 keV dla Cs-137 oraz 1461 keV dla K-40.

Wyniki potwierdzają, że grzyby leśne stanowią czuły bioindykator długotrwałej obecności radionuklidów w ekosystemach leśnych. Uzyskane dane wskazują na stopniowe zmniejszanie się poziomu skażenia Cs-137 w Borach Niemodlińskich (Opolszczyzna) – obszarze, w którym po awarii elektrowni jądrowej w Czarnobylu odnotowano jedno z najwyższych depozycji tego radionuklidu w Polsce, gdzie stwierdzono najwyższe stężenie aktywności Cs-137 w owocnikach podgrzybków brunatnych (*Xerocomus badius*) spośród analizowanych próbek [3].

Podziękowania

Autorzy dziękują wszystkim osobom zaangażowanym w zbiór próbek, w szczególności: członkom Studenckiego Koła Naukowego Fizyków Bozon (AGH), Annie Mroziak, Katarzynie Gajewskiej, Dominikowi Dudzie (IFJ PAN) oraz Bartoszowi Sroce.

Bibliografia

- [1] Mietelski, JW. (1994). „Skażenia radioaktywne lasów Polski [praca doktorska]”. Kraków: Instytut Fizyki Jądrowej PAN im. H. Niewodniczańskiego
- [2] Mietelski, JW., Jasińska, M., Kozak, K., Ochab, E. (1996). „The method of measurement used in the investigation of radioactive contamination of forests in Poland”. *Appl Radiat Isot.*, 47(9-10):1089–95, doi: 10.1016/S0969-8043(96)00111-X
- [3] Mietelski, JW., Dubchak, S., Błażej, S., Anielska, T., Turnau, K. (2010). „¹³⁷Cs and ⁴⁰K in fruiting bodies of different fungal species collected in a single forest in southern Poland”. *J Environ Radioact.*, 101(9):706–11, doi: 10.1016/j.jenvrad.2010.04.010

Właściwości cieplne powłok Cr/CrAl w kontekście rozwoju paliwa jądrowego typu Accident Tolerant Fuel

Marcin Brykała^{1*}, Katarzyna Ciporska¹, Marcin Chmielewski^{1,4}, Michał Stróżyk², Kinga Suchorab^{1,2}, JaeYong Kim³, Jacek Jagielski²

¹Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Laboratorium Badań Materiałowych, Otwock-Świerk

²Narodowe Centrum Badań Jądrowych, NOMATEN Centrum Doskonałości, Otwock-Świerk

³Korea Atomic Energy Research Institute, LWR Fuel Technology Research Division, Daejeon, Korea Południowa

⁴Sieć Badawcza Łukasiewicz, Instytut Mikroelektroniki i Fotoniki, Warszawa

*E-mail: marcin.brykala@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: powłoki Cr/Cr-Al, właściwości cieplne, utlenianie wysokotemperaturowe, stabilność termiczna powłok, Accident Tolerant Fuel (ATF)

Koncepcja Accident Tolerant Fuel (ATF) nabrała szczególnego znaczenia po awarii w Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (Japonia, 2011). Jej celem jest zwiększenie bezpieczeństwa paliwa jądrowego w warunkach ciężkich awarii. Strategia ta obejmuje modyfikację składu paliwa oraz zastosowanie powłok ochronnych na koszulkach ze stopów cyrkonu. W scenariuszach Loss of Coolant Accident (LOCA) gwałtowne utlenianie cyrkonu w parze wodnej prowadzi do powstawania ZrO₂ i intensywnej generacji wodoru, co stanowi istotne zagrożenie dla integralności rdzenia reaktora. Zastosowanie powłok Cr lub Cr-Al ma na celu spowolnienie kinetyki utleniania, ograniczenie produkcji wodoru oraz zwiększenie stabilności termicznej koszulek w temperaturach dochodzących do 1000–1100°C. Istotnym aspektem ich zastosowania jest jednak dokładne poznanie właściwości cieplnych, które wpływają na transport ciepła w warunkach normalnej eksploatacji i podczas stanów przejściowych.

Celem prowadzonych badań było wyznaczenie podstawowych parametrów cieplnych powłok Cr oraz Cr-Al, obejmujących współczynnik rozszerzalności cieplnej, ciepło właściwe, dyfuzyjność i przewodność cieplną. Badania prowadzono z wykorzystaniem jednoczesnej analizy termicznej (STA), wysokotemperaturowej dylatometrii oraz impulsowej metody laserowej (LFA). Dodatkowo oceniono stabilność termiczną powłok metodą DSC/TG w warunkach nieizotermicznego utleniania w powietrzu i parze wodnej w temperaturze do 1100°C. Wykonano również pomiary TG po wstępnym wyżarzaniu w celu określenia wpływu odprężenia struktury na końcowy przebieg procesu utleniania. Uzyskane wyniki dostarczają istotnych danych pozwalających na ocenę zachowania powłok w warunkach eksploatacyjnych i awaryjnych reaktorów jądrowych.

Podziękowania

Projekt został sfinansowany przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBiR) oraz Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) w ramach projektu ATF Cladding, na podstawie umowy grantowej DWM/POLKOR/2/2024 (część realizowana w Polsce).

Wprowadzenie możliwości k_0 -NAA w reaktorze badawczym MARIA

Michał Dorosz^{1*}, Karolina Wójciuk¹

¹Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock-Świerk

* E-mail: michal.dorosz@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: NAA, metoda k_0 , analiza wielopierwiastkowa, napromieniowywanie, Badawczy Reaktor MARIA

Neutronowa Analiza Aktywacyjna (NAA) to czuła i niezawodna technika oznaczania wielopierwiastkowego. Metoda standaryzacji k_0 rozszerza praktyczne zastosowanie NAA poprzez zastąpienie komparatorów specyficznych dla poszczególnych pierwiastków znormalizowanym podejściem opartym na stałych jądrowych, charakterystyce widma neutronów, monitorowaniu strumienia i skalibrowanej spektrometrii promieniowania gamma [1,2]. Niniejsza praca przedstawia wprowadzenie metody k_0 w Reaktorze Badawczym MARIA jako podstawy do rutynowych zastosowań analitycznych i przyszłej walidacji metod.

Strategia wdrożenia obejmuje charakterystykę wybranych pozycji do napromieniowania poprzez określenie stosunku strumienia neutronów termicznych do epitermalnych (f) oraz współczynnika kształtu widma neutronów epitermicznych (α), kalibrację wydajności detektora w odpowiednim zakresie energii oraz opracowanie procedury obliczeniowej z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania k_0 [2,3]. Proponowany schemat postępowania jest przeznaczony do rutynowej analizy próbek środowiskowych, biologicznych, geologicznych i przemysłowych, ze zmniejszoną zależnością od przygotowywania wzorców wielopierwiastkowych. Szczególną uwagę poświęcono geometrii pomiarów, powtarzalności napromieniowania, ocenie widma oraz wewnętrznej kontroli jakości z wykorzystaniem materiałów odniesienia i analiz replikowanych [3,4].

Oczekiwany rezultat jest stworzenie solidnej oraz elastycznej analitycznej procedury laboratoryjnej do zastosowań w reaktorze badawczym. Oczekiwany wynikiem wprowadzenia k_0 -NAA, jest poprawa porównywalności wyników, uproszczenie standaryzacji, skrócenie czasu przygotowania do analizy wielopierwiastkowej oraz wzmocnienie oferty badań dla nauki, edukacji i działalności usługowej. Wdrożenie to stanowi ważny krok w kierunku harmonizacji lokalnej praktyki analitycznej z powszechnie przyjętą metodologią NAA opartą na k_0 [2-4].

Bibliografia

- [1] Simonits, A., De Corte, F., Hoste, J. (1975). "Single comparator methods in reactor neutron activation analysis". *Journal of Radioanalytical Chemistry*, 24 (1), 31-46
- [2] De Corte, F., Simonits, A., De Wispelaere, A., Hoste, J. (1987). "Accuracy and applicability of the k_0 -standardization method". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 113 (1), 145-161
- [3] Rossbach, M., Blaauw, M., Bacchi, M.A. (2007). "The k_0 -IAEA program". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 274 (3), 657-662
- [4] Révay, Z., Kennedy, G.G. (2012). "Application of the k_0 method in neutron activation analysis and in prompt gamma activation analysis". *Radiochimica Acta*, 100 (8-9), 687-698

Whisky, promieniowanie i środowisko: nowe perspektywy w dozymetrii chemicznej

Michał Dorosz^{1*}, Karolina Wójciuk¹

¹Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Otwock-Świerk

*E-mail: michal.dorosz@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: promieniowanie gamma, starzenie, dozymetria środowiskowa

Dozymetria chemiczna opiera się na mierzalnych zmianach chemicznych wywołanych promieniowaniem i może być szczególnie użyteczna w oparciu o złożone układy organiczne. Niniejsza praca rewiduje, czy napromieniowana whisky mogłaby służyć jako niekonwencjonalny dozymetr środowiskowy poprzez identyfikację odpowiedniego markera chemicznego zależnego od dawki. Wcześniejsze badania wykazały, że promieniowanie jonizujące może przyspieszać procesy dojrzewania i zmieniać właściwości chemiczne i sensoryczne napojów alkoholowych, w tym wina ryżowego, wina kukurydzianego i destylatów [1-4]. Odkrycia te sugerują, że napromieniowanie powoduje powtarzalne zmiany molekularne, które mogą być skorelowane z dawką pochłoniętą. W tym kontekście whisky jest proponowana jako modelowa matryca do testowania, czy wybrane związki, redoks aktywne lub produkty przemiany indukowanej promieniowaniem mogą funkcjonować jako wiarygodne wskaźniki analityczne narażenia na promieniowanie. Planowane badanie skupi się na identyfikacji markera o wystarczającej czułości, stabilności i swoistości do zastosowań dozymetrycznych. W przypadku walidacji, to podejście może otworzyć nowy kierunek w dozymetrii środowiskowej poprzez wykorzystanie łatwego do analizy układu organicznego do retrospektywnej oceny promieniowania.

Bibliografia

- [1] Krüger, R.T., et al. (2022). "Current Technologies to Accelerate the Aging Process of Alcoholic Beverages". *Beverages* 8, 65
- [2] Chang, A.C. (2003). "The Effects of Gamma Irradiation on Rice Wine Maturation". *Food Chemistry* 83, 323–327
- [3] Chang, A.C. (2004). "The Effects of Different Accelerating Techniques on Maize Wine Maturation". *Food Chemistry* 86, 61-68
- [4] Qu, S., et al. (2024). "Effects of Irradiation on the Aging and Sensory Quality of Navel Orange Distilled Spirits". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(2), 979-992

Pomiary Rn-222 w wodach z wykorzystaniem spektrometrii ciekłoscyntylacyjnej

Małgorzata Dymecka^{1*}, Katarzyna Rzemek¹, Grażyna Kaczyńska¹, Joanna Żołądek-Nowak¹, Jakub Ośko¹

¹Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, Otwock

*E-mail: malgorzata.dymecka@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: oznaczanie Rn-222, licznik ciekłoscyntylacyjny, wody pitne, wody gruntowe, kalibracja Ra-226

Radon (Rn-222) to naturalnie występujący promieniotwórczy gaz szlachetny, który może stanowić zagrożenie dla zdrowia ze względu na emisję cząstek alfa i powstawanie krótkożyciowych produktów rozpadu będących metalami ciężkimi. Narażenie pochodzące od radonu jest związane przede wszystkim z jego akumulacją w pomieszczeniach o ograniczonej wymianie powietrza. Dodatkową drogą narażenia stanowi spożycie wody pitnej lub inhalacja radonu uwalnianego z wody do powietrza wewnątrz pomieszczeń np. podczas kąpieli lub prac gospodarczych takich jak pranie i zmywanie.

Ochrona zdrowia publicznego w kontekście potencjalnego narażenia na radon obecny w wodzie dostarczanej do gospodarstw domowych stanowi istotne zagadnienie znajdujące odzwierciedlenie w międzynarodowych i krajowych wytycznych i przepisach prawnych. W polskim systemie prawnym, zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017 (Dz.U. 2017 poz. 2294), które wdraża wymagania Dyrektywy Rady 2013/51/Euratom, oznaczanie stężenia aktywności radonu jest jedną z obowiązkowych analiz substancji promieniotwórczych wykonywanych w celu oceny jakości wody przeznaczonej do spożycia, a określony dla niego limit, zdefiniowany jako wartość parametryczna, wynosi 100 Bq L⁻¹.

Celem niniejszej pracy było zwalidowanie i wdrożenie do praktycznego zastosowania metody oznaczania Rn-222 w wodach z wykorzystaniem spektrometrii ciekłoscyntylacyjnej, która mogłaby posłużyć do monitorowania jego stężenia. Zastosowana metoda polegała na wstrzyknięciu niewielkiej ilości próbki wody pod powierzchnię organicznego koktajlu scyntylacyjnego Mineral Oil Scintillator (PerkinElmer, USA), który umożliwia ekstrakcję Rn-222 i oddzielenie go od Ra-226 pozostającego w fazie wodnej. Wszystkie pomiary wykonano przy użyciu licznika scyntylacyjnego Tri-Carb 3180 TR/SL (PerkinElmer, USA).

Pomiary próbek testowych przygotowanych z wykorzystaniem certyfikowanego roztworu wzorcowego Ra-226 (Czech Metrology Institute) posłużyły do wyznaczenia podstawowych parametrów operacyjnych metody (trybu pomiaru, wartości dyskryminatora, całkowitej wydajności i granicy wykrywalności) oraz przeprowadzenia jej walidacji. Analiza statystyczna wyników potwierdziła, że metoda spełnia przyjęte kryteria akceptacji dla liniowości, poprawności i precyzji. Metodę zwalidowano dodatkowo poprzez udział w badaniach porównawczych organizowanych przez Komisję Europejską oraz Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych IFJ PAN.

Procedurę analityczną zastosowano do pomiaru zawartości Rn-222 w wybranych próbkach wód pitnych i gruntowych (w tym pochodzących z ujęć głębinowych). Uzyskane wartości stężenia aktywności Rn-222 były wyższe od granicy wykrywalności metody (0,58 Bq L⁻¹), lecz nie przekraczały 50% jego wartości parametrycznej określonej w Rozporządzeniu Ministra Zdrowia z dnia 7 grudnia 2017.

Radiochemiczne oznaczanie radionuklidów β -promieniotwórczych w próbkach środowiskowych w ramach monitoringu radiacyjnego obiektów zakwalifikowanych do II kategorii zagrożeń

Grażyna Kaczyńska^{1*}, Małgorzata Dymecka¹, Katarzyna Rzemek¹, Magdalena Rokicka¹, Joanna Żołądek-Nowak¹, Jakub Ośko¹

¹Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, Otwock

*E-mail: grazyna.kaczynska@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: monitoring radiacyjny środowiska, analiza radiochemiczna, radionuklidy β - promieniotwórcze, LSC, ochrona radiologiczna

Monitoring radiacyjny środowiska stanowi istotny element systemu ochrony radiologicznej ludności oraz oceny poziomu promieniowania jonizującego w komponentach środowiska. W Polsce realizowany jest zgodnie z wymaganiami określonymi w obowiązujących aktach prawnych regulujących funkcjonowanie krajowego systemu monitoringu radiacyjnego [1].

Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 9 sierpnia 2022 r. w sprawie zakresu programu monitoringu radiacyjnego środowiska wprowadziło szczegółowe wymagania dotyczące programów monitoringu prowadzonych przez jednostki organizacyjne zakwalifikowane do I i II kategorii zagrożeń [2]. Obecnie w krajowych uwarunkowaniach system ten ukierunkowany jest na identyfikację oraz ocenę potencjalnych zagrożeń radiacyjnych związanych z działalnością jednostek II kategorii zagrożeń [1]. Przedstawione rozważania odnoszą się do sytuacji normalnej, rozumianej jako warunki funkcjonowania środowiska w przypadku braku zdarzeń radiacyjnych [2].

Wejście w życie wspomnianego rozporządzenia spowodowało istotne rozszerzenie zakresu oznaczanych radionuklidów w stosunku do programu monitoringu obowiązującego wcześniej, określonego w zezwoleniu na eksploatację obiektu jądrowego. Zmodyfikowano również wymagania dotyczące częstotliwości poboru próbek. W konsekwencji pojawiła się potrzeba opracowania wieloetapowych procedur analitycznych, szczególnie w odniesieniu do radionuklidów β -promieniotwórczych oznaczanych w próbkach środowiskowych.

Szczególne znaczenia nabierają radionuklidy β -promieniotwórcze, takie jak np.: ^3H , ^{14}C oraz ^{90}Sr , które ze względu na właściwości fizykochemiczne mogą migrować w środowisku wodnym oraz glebowym [3].

W pracy przedstawiono zagadnienia związane z oznaczaniem aktywności wybranych radionuklidów β -promieniotwórczych w próbkach wód środowiskowych z wykorzystaniem spektrometrii ciekłoscintylacyjnej. Analizie poddano zarówno próbki rzeczywiste, jak i próbki kontrolne oraz próbki wydajnościowe, co umożliwiło kompleksową ocenę poprawności przygotowania materiału oraz jakości prowadzonych oznaczeń.

Wyznaczono podstawowe parametry metody, w tym wydajność detekcji, której wartości mieściły się w zakresie 30–40% dla ^3H , 30–70% dla ^{14}C oraz 60–90% dla ^{90}Sr . Podane przedziały wartości wynikają z przeprowadzenia pomiarów z wykorzystaniem dwóch niezależnych liczników ciekłoscintylacyjnych. Wyznaczono również inne charakterystyki pomiarowe.

Bibliografia

[1] Sejm RP. (2024). Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r. – Prawo atomowe. Dz.U., Warszawa

[2] Rada Ministrów. (2022). Rozporządzenie w sprawie zakresu programu monitoringu radiacyjnego środowiska opracowywanego i wdrażanego przez jednostki organizacyjne zakwalifikowane do I lub II kategorii zagrożeń. Dz.U., Warszawa

[3] IAEA. (2005). Environmental and Source

Monitoring biologiczny personelu pracującego w warunkach narażenia wewnętrznego na tryt

Katarzyna Rzemek^{1*}, Małgorzata Dymecka¹, Magdalena Mądry¹, Grażyna Kaczyńska¹, Tomiła Deskur¹, Jakub Ośko¹

¹Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych, Otwock

*E-mail: katarzyna.rzemek@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: tryt, analizy moczu, spektrometria ciekłoscyntylacyjna, walidacja metod, narażenie zawodowe

W celu kontroli narażenia wewnętrznego, u osób pracujących w warunkach narażenia na wniknięcie trytu do organizmu, standardowo oznacza się jego aktywność w próbkach moczu wykorzystując w tym celu spektrometrię ciekłoscyntylacyjną [1]. W Laboratorium Pomiarów Dozymetrycznych (LPD) Narodowego Centrum Badań Jądrowych (NCBJ) stosuje się rutynowo metodę polegającą na zastosowaniu odpowiedniej preparatyki chemicznej poprzedzającej pomiar w liczniku ciekłoscyntylacyjnym (LSC) Tri-Carb 2900TR lub Tri-Carb PE 3180TR/SL (Perkin Elmer, USA). W preparatyce próbki wyróżnia się następujące etapy: odbarwienie próbki węglem aktywnym i jej filtrację, destylację z dodatkiem węglanu sodu i tiosiarczanu sodu, połączenie 5 cm³ destylatu ze scyntylatorem Ultima Gold AB (Revvity, USA).

Metoda objęta jest zakresem akredytacji LPD nr AB 567 dla stężenia trytu od 10 Bq·dm⁻³ do 10 kBq·dm⁻³ [2]. Metoda oznaczania HTO w próbkach moczu została zwalidowana w międzynarodowych badaniach porównawczych organizowanych przez francuskie stowarzyszenie PROCORAD (*Association for the Promotion of Quality Control in Radiotoxicological Analysis*). Podczas przeprowadzonego w laboratorium postępowania walidacyjnego potwierdzono, że metodę charakteryzuje m.in. selektywność, liniowość, dobra precyzja, wysoka wydajność pomiaru i niska wartość minimalnego wykrywalnego stężenia aktywności.

Badania trytu w moczu znajdują zastosowanie w monitoringu radiologicznym pracowników reaktorów jądrowych [3], w tym badawczego reaktora jądrowego MARIA. Ze względu na obecność trytu w reaktorze MARIA, stanowi on jedno ze źródeł narażenia wewnętrznego niektórych pracowników. Przeprowadzone analizy próbek moczu pracowników reaktora MARIA wykazały obecność HTO w materiale biologicznym o aktywności mieszczącej się w zakresie zastosowanej metody. Obciążające dawki skuteczne w przypadku badanej grupy pracowników nie przekroczyły wartości granicznej. Ze względu na możliwość narażenia wewnętrznego na tryt oraz występowanie zwiększonej aktywności trytu w środowisku pracy wskazane jest kontynuowanie indywidualnego monitoringu skażeń wewnętrznych pracowników.

Bibliografia

[1] ICRP. (2016). Occupational Intakes of Radionuclides: Part 2. ICRP Publication 134. Annals of ICRP 45(3/4)

[2] <https://www.pca.gov.pl/akredytowane-podmioty/akredytacje-aktywne/laboratoria-badawcze/AB%20567,podmiot.html> (dostęp 01.03.2026)

[3] Chen, F., Wang, X.T., Li, Y.W., et al. (2021). "Analysis of tritium activity concentrations in urine and internal dose assessment for nuclear power plant workers". Radiation Medicine and Protection, 2, str. 1-4

Ślad Czarnobyla czy norma? Dekada badań radioaktywnego ceszu u polskiej zwierzyny łownej (2015–2025)

Magdalena Gembal^{1*}, Paweł Czerski¹, Małgorzata Warenik-Bany¹

¹Państwowy Instytut Weterynaryjny – Państwowy Instytut Badawczy, Dział Badań Chemicznych Żywności i Pasz, Puławy

*E-mail: magdalena.gembal@piwet.pulawy.pl

Słowa kluczowe: ^{137}Cs , skażenia promieniotwórcze, żywność pochodzenia zwierzęcego

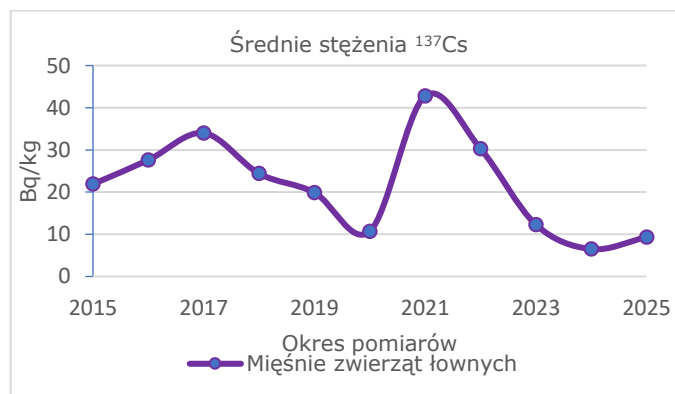
Wstęp. W wyniku awarii jądrowej w Czarnobylu, obszar Polski uległ długotrwałemu skażeniu promieniotwórczym izotopem ^{137}Cs . Konsekwencją opadu promieniotwórczego, było nierównomiernemu skażeniu głównie elementów biotycznych tj. roślinność, gleba, woda. Rozmieszczenie i migracja ^{137}Cs między poszczególnymi elementami środowiska miała i ma ogromny wpływ na obieg ^{137}Cs w łańcuchu troficznym poprzez pobieranie go przez zwierzęta wraz z pokarmem [1].

Cel. Określenie poziomów ^{137}Cs w próbkach mięśni zwierząt łownych, pobieranych w ramach krajowego programu badań kontrolnych żywności pochodzenia zwierzęcego [2].

Materiał i metody. W latach 2015-2025 przebadano łącznie 1242 próbek zwierząt łownych (dziki, sarny, jelenie) z obszaru całego kraju. Do detekcji wykorzystano spektrometrię promieniowania gamma z zastosowaniem detektora półprzewodnikowego (HPGe) oraz detektora scyntylacyjnego (NaI). Zebrane widma promieniowania gamma analizowano stosując oprogramowanie Genie 2000.

Wyniki i dyskusja. Wartości stężeń ^{137}Cs były zróżnicowane. W większości przypadków uzyskiwano wartości MDA (około 1 Bq/kg). W części próbek notowano stężenia w zakresie 20-591 Bq/kg. W kilku próbkach mięśni dzików odnotowano wartości przekraczające dopuszczalny limit (1250 Bq/kg). Najwyższe stężenie, w mięśniach dzika wyniosło 4195 Bq/kg. Średnie stężenie uzyskane w okresie 10 lat przedstawiono na rysunku 1.

Wnioski. Obszary leśne stanowią bardzo dobre warunki akumulacji ^{137}Cs w środowisku naturalnym. Uzyskane wyniki potwierdzają zdolność zwierząt łownych do pobierania promieniotwórczego ^{137}Cs . Przemawiają za tym dwa główne czynniki, bytowanie zwierząt na obszarach skażonych w wyniku opadu promieniotwórczego (głównie obszary leśne), a także sposób odżywiania i żerowania zwierząt dzikich.



Rysunek 1. Średnie stężenia ^{137}Cs w próbkach mięśni zwierząt łownych w latach 2015-2025

Bibliografia

[1] Gembal, M., Czerski, P., Milczarczyk, E., Warenik-Bany, M. (2023). „Levels of caesium-137 in food of animal origin in Poland”. *Journal of Veterinary Research*, 67, 407-414

[2] Czerski, P., Gembal, M., Warenik-Bany, M. (2024). „Caesium-137 in the muscles of game animals in 2015-2022 – levels and time trend”. *Journal of Veterinary Research*, 68, 263-270

Geochemiczna i tafonomiczna interpretacja akumulacji uranu w skamieniałościach: studium przypadku skamieniałych gąbek z Nasiłowa w Polsce

Magdalena Długosz-Lisiecka^{1*}, Ewa Świerczewska-Gładysz², Marcin Makówka³, Agnieszka Adamus-Włodarczyk¹

¹Politechnika Łódzka, Międzyresortowy Instytut Techniki Radiacyjnej, Wróblewskiego 15, 93-590 Łódź

²Uniwersytet Łódzki, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej, Pomorska 149/153, 90-236 Łódź

³Lodz University of Technology, Faculty of Mechanical Engineering, Institute of Materials Science and Engineering, Stefanowskiego 1/15, 90-537 Lodz, Poland

*E-mail: magdalena.dlugosz@p.lodz.pl

Słowa kluczowe: ruchliwość uranu, fosfatacja, warunki redoks, diagenetyzacja skamieniałości, radionuklidy w gąbkach kopalnych, SEM, spektrometria gamma

Głównym przedmiotem badań jest analiza geochemiczna sfosfatyzowanych gąbek późnokredowych z odsłonięcia Nasiłowa (dolina środkowej Wisły, południowa Polska), które różnią się materiałem wypełnienia. Dla porównania, przeprowadzono również analizę innych sfosfatyzowanych okazów gąbek kredowych z trzech różnych lokalizacji w Polsce (Annopol, Korzkiew i Mielnik). Materiał badawczy zbadano technikami SEM i spektrometrii gamma. Uran ^{238}U , potas ^{40}K oraz stosunek pierwiastków P/Fe służą jako wskaźniki procesów tafonomicznych, które mogą zachodzić w skamieniałościach. Rozkład O, P, Fe, K i jego izotopu ^{40}K , U i jego izotopów (^{238}U , ^{235}U) w różnych osadach wypełniających redeponowane gąbki z Nasiłowa jest kontrolowany przez sedymentacyjne warunki redoks, litologię (np. obecność glaukonitu) i procesy diagenetyczne.

Analizy spektrometryczne gamma i SEM-EDS wykazały wyraźną zmienność składu pierwiastkowego i radionuklidowego analizowanych gąbek kopalnych, szczególnie w odniesieniu do uranu (U), tlenu (O), potasu (K), fosforu (P) i żelaza (Fe). Wyniki wskazują, że okazy z Nasiłowa tworzą trzy odrębne grupy geochemiczne, podczas gdy gąbki z Annopola, Korzkwi i Mielnika wykazują konsekwentnie niższą aktywność radionuklidową i węższy zakres składu.

Późnokredowe okazy gąbek z Nasiłowa (południowa Polska) charakteryzują się znacznie wyższymi stężeniami izotopów uranu niż starsze gąbki kredowe z różnych obszarów Polski. Wydaje się, że jest to związane z wyższą zawartością uranu w wodzie morskiej, spowodowaną regresją mórz pod koniec kredy i zwiększonym dopływem uranu z lądu.

Aktywności ^{238}U i ^{235}U wykazują silną korelację liniową we wszystkich analizowanych okazach. Stosunek aktywności $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ pozostaje stały i bliski wartości naturalnej, co wskazuje na identyczne zachowanie chemiczne obu izotopów oraz brak wykrywalnego frakcjonowania izotopowego podczas fosylizacji i późniejszych procesów diagenetycznych.

Analiza geochemiczna gąbek z Nasiłowa pokazuje odrębne grupy: niektóre wykazują nadmiar uranu w stosunku do potasu, co sugeruje wzbogacenie U w późnym stadium, niezależne od wkładu glaukonitu. Wyniki korelują z zawartością glaukonitu w fosforanowanym pierwotnym i wtórnym materiale wypełnienia szkieletów gąbek.

Badania pokazują, że zachowanie skamieniałości w Nasiłowie obejmowało złożone, wielofazowe historie diagenetyczne, w tym wczesną fosfatację, zmienne warunki redoks i redystrybucję pierwiastków po depozycji. Procesy te należy starannie uwzględnić przy interpretacji wskaźników geochemicznych w materiale kopalnym.

Ochrona Radiologiczna w Narodowym Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS

Katarzyna Wichucka^{1*}, Dominik Raś¹, Magdalena B. Jaglarz¹

¹Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS, Uniwersytet Jagielloński, Kraków

*E-mail: katarzyna.wichucka@uj.edu.pl

Słowa kluczowe: synchrotron, akcelerator liniowy, akcelerator kołowy, dozymetria, ochrona radiologiczna

Narodowe Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS, działające od 2015 r. jako specjalistyczna jednostka Uniwersytetu Jagiellońskiego, jest jedynym w Europie Środkowo-Wschodniej ośrodkiem udostępniającym infrastrukturę badawczą opartą na promieniowaniu synchrotronowym. Kompleks obejmuje akcelerator liniowy oraz pierścień akumulacyjny, w którym elektrony osiągają energię 1,5 GeV, generując szerokopasmowe promieniowanie od podczerwieni do promieniowania rentgenowskiego. Obecnie badania prowadzone są na siedmiu liniach eksperymentalnych pracujących w zakresie energii fotonów 0,0125–16 000 eV, a także z wykorzystaniem dwóch kriomikroskopów elektronowych [1].

Z perspektywy ochrony radiologicznej kluczowe jest ograniczenie narażenia na promieniowanie jonizujące powstające zarówno w wyniku emisji synchrotronowej, jak i wskutek procesów wtórnych zachodzących podczas oddziaływania wiązki elektronów z elementami akceleratora. Zjawiska te mogą prowadzić do powstawania krótkożyłowych radioizotopów i lokalnej aktywacji materiałów, co wymaga wdrożenia.

W celu zapewnienia bezpieczeństwa zastosowano wielopoziomowy system dozymetryczny obejmujący pasywną dozymetrię TLD oraz dwanaście stacji RMS z komorami jonizacyjnymi, które prowadzą ciągły monitoring i archiwizację poziomów promieniowania na terenie ośrodka [2]. Wybrane stacje współpracują z systemem bezpieczeństwa PSS, umożliwiając automatyczne wyłączenie wiązki lub zamykanie przesłon w przypadku przekroczenia ustalonych progów alarmowych [3]. Ponadto monitorowana jest kontrola dostępu do stref akceleratora, w tym tunelu liniaka i pierścienia akumulacyjnego, które podczas pracy urządzeń pozostają zamknięte dla personelu. Uzupełnieniem systemu monitoringu ciągłego są okresowe pomiary promieniowania wykonywane przy użyciu przenośnych przyrządów dozymetrycznych.

Analiza danych z systemu RMS oraz kwartalnych odczytów TLD potwierdza, że poziomy dawek na terenie NCPS SOLARIS pozostają poniżej wartości dopuszczalnych dla stref nieklasyfikowanych. Wyniki te potwierdzają skuteczność stosowanych osłon, procedur i systemów nadzoru, a także wysoki standard bezpieczeństwa radiologicznego w ośrodku.

Podziękowania

NCPS SOLARIS jest rozwijany w ramach realizacji projektu Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego „Wsparcie badań i rozwoju z wykorzystaniem infrastruktury badawczej Narodowego Centrum Promieniowania Synchrotronowego SOLARIS” na podstawie umowy nr 1/SOL/2021/2.

Bibliografia

[1] "SOLARIS Centre 2023-2024" report (accessible www.synchrotron.uj.edu.pl)

[2] Jaglarz, M.B., Wikłacz, J., Wawrzyniak, A.I. (2019). "Radiation safety at Solaris 1.5 GeV storage ring". IPAC2019, Melbourne, Australia, JACoW Publishing doi:10.18429/JACoW-IPAC2019-THPRB059

[3] Jaglarz, M.B., Michoń, D., Zdrodowska-Pawluś, B., Wawrzyniak, K., Agustyn, M., Wawrzyniak, A.I. (2023). „Radiation Protection and Personal Safety System at SOLARIS National Synchrotron Radiation Centre” Radsynch23, 11th International on Radiation Safety at Synchrotron Sources, ESRF-Grenoble-France

Izotopy ołowiu ^{210}Pb w rybach bałtyckich i słodkowodnych, mięczakach oraz wybranych produktach rybnych w Polsce

Alicja Boryło^{1*}, Klaudia Lanczewska-Bejenka¹, Marcin Kaczor¹

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Katedra Chemii i Radiochemii Środowiska

*E-mail: alicja.borylo@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: izotop promieniotwórczy ^{210}Pb , ryby świeże, ryby konserwowane, mięczaki, bezpieczeństwo radiologiczne

W ramach badań przeprowadzono analizę stężeń izotopu ołowiu ^{210}Pb w rybach bałtyckich i słodkowodnych, mięczakach oraz przetworzonych produktach rybnych zakupionych w sklepach i świeżych rybach pozyskanych od wędkarzy. Największe stężenia izotopu ^{210}Pb zmierzono w przetworzonych konserwach rybnych i mięczakach, zwłaszcza w przypadku sardynek i ośmiornic, podczas gdy mniejsze wartości odnotowano w świeżych rybach, takich jak łosoś jeziorowy i makrela. Analiza radiochemiczna wykazała, że niektóre gatunki kręgowców oraz bezkręgowców charakteryzowały się znaczącymi stężeniami izotopu ^{210}Pb (głównie w rybach przetworzonych, takich jak makrela, śledź i śledź atlantycki). Za pomocą analizy statystycznej zbadano wpływ zabiegów utrwalania żywności, rodzaju pakowania ryb i zalewy oraz ich pochodzenia na stężenia analizowanego radionuklidu promieniotwórczego. W ramach badań oszacowano również potencjalne dawki skuteczne wynikające ze spożycia ryb, mięczaków i przetworów rybnych dla różnych grup wiekowych, takich jak dzieci, młodzież i osoby dorosłe. Ustalono średnie wartości rocznych dawek, które dla izotopu ^{210}Pb wynosiły $0,032 \mu\text{Sv/rok}$ w grupie dzieci pomiędzy 1 a 2 rokiem życia, $0,034 \mu\text{Sv/rok}$ w grupie dzieci w wieku 7-12 lat oraz $0,068 \mu\text{Sv/rok}$ dla osób dorosłych. Analiza wariancji dla izotopu ^{210}Pb w badanych próbkach potwierdziła hipotezę o braku istotnych różnic statystycznych między grupami, biorąc pod uwagę pochodzenie próbki i rodzaj zalewy, w jakiej umieszczano przetwory rybne lub mięczaka, podczas gdy istotne statystycznie różnice otrzymano, biorąc pod uwagę kryterium, jakim był gatunek ryby oraz mięczaka. Otrzymane wyniki badań wskazują, że zróżnicowane stężenia izotopu ^{210}Pb wynikają głównie z różnic w diecie badanych ryb i mięczaków oraz różnych metod przechowywania i przetwarzania produktów rybnych. Przeprowadzone badania wskazują na istotność informowania konsumentów o ryzyku związanym ze spożywaniem ryb, mięczaków i produktów rybnych, co może znacząco przyczynić się do zwiększenia świadomości potencjalnych konsumentów i pomóc w podejmowaniu przemyślanych decyzji dotyczących spożywanej żywności.

Świeże i konserwowane ryby oraz owoce morza jako źródło ^{210}Po w diecie ludzi

Alicja Boryło^{1*}, Klaudia Lanczewska-Bejenka¹, Marcin Kaczor¹

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Katedra Chemii i Radiochemii Środowiska

*E-mail: alicja.borylo@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: polon, ryby świeże i konserwowane, mięczaki, bezpieczeństwo radiologiczne

Głównym celem badań było oznaczenie stężeń izotopu ^{210}Po w przetworzonych produktach rybnych oraz świeżych rybach i mięczakach dostępnych na polskim rynku spożywczym oraz oszacowanie pochodzących od spożycia tych produktów efektywnych dawek promieniowania jonizującego. Na podstawie otrzymanych wyników sprawdzono również, jaki wpływ na stężenia izotopu ^{210}Po miał rodzaj pakowania próbek (próżniowo lub w postaci konserw), rodzaj zalewy (woda, olej lub sos własny), jak również odpowiednie zabiegi utrwalania żywności, takie jak apertyzacja, sterylizacja czy pasteryzacja. Wśród analizowanych produktów rybnych największe stężenia ^{210}Po zmierzono w produktach przetworzonych, podczas gdy mniejsze wartości analizowanego radionuklidu charakteryzowały świeże ryby. Największe stężenie ^{210}Po w przetworzonej żywności pochodzenia rybnego i mięczakach zmierzono odpowiednio dla sardynki i ośmiornicy, najmniejsze zaś dla łososia jeziorowego i makreli. Największe stężenie ^{210}Po wśród świeżych ryb i mięczaków zmierzono dla miętusa nowozelandzkiego i omułka śródziemnomorskiego, najmniejsze natomiast dla pstrąga tęczowego oraz śledzia atlantyckiego. Średnie wartości rocznych dawek efektywnych związanych ze spożyciem świeżych i przetworzonych ryb oraz mięczaków dla izotopów ^{210}Po wśród dzieci w wieku od 1 do 2 lat wynoszą odpowiednio 0,600 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$, wśród dzieci w wieku od 7 do 12 lat 0,353 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$, z kolei wśród osób dorosłych 0,353 $\mu\text{Sv}/\text{rok}$. Otrzymane stężenia ^{210}Po w rybach bałtyckich oraz mięczakach i rybach przetworzonych oraz mięczakach różniły się statystycznie. Stwierdzono istotnie statystyczne różnice stężenia ^{210}Po w zależności od metody przechowywania ryb i mięczaków, natomiast nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla otrzymanych stężeń ^{210}Po , biorąc pod uwagę kryterium rodzaju zalewy. Test post-hoc HSD wykazał istotne statystyczne różnice stężeń ^{210}Po między rybami pochodzącymi z konserw, a rybami pakowanymi próżniowo, świeżo odłowionymi oraz pochodzącymi z akwakultur. Na jego podstawie wykazano również brak istotnych różnic statystycznych między rybami dzikimi i rybami pochodzącymi z akwakultur. Na podstawie analizowanych stężeń ^{210}Po stwierdzono, że największe oznaczone zawartości tego radionuklidu występowały w małżach, mięczakach z gromady głowonogi (kalmary, ośmiornice) oraz rybach dwustrefowych (sandacz, szczupak, okoń), które pozyskano z przybrzeżnych wód Morza Bałtyckiego i śledziu bałtyckim, który tylko na czas tarła wraca do wód przybrzeżnych i rzek.

Metody analizy polonu i uranu w próbkach środowiskowych

Klaudia Lanczewska-Bejenka^{1*}, Alicja Boryło¹, Bogdan Skwarzec¹

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Gdańsk

*E-mail: klaudia.lancewska@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: polon, uran, spektrometria alfa, scyntylicyjna spektrometria ciekła, ICP-MS

Oznaczanie polonu (Po) i uranu (U) w próbkach środowiskowych wymaga zastosowania zaawansowanych technik analitycznych, ze względu na ich niskie stężenia oraz interferencje matrycowe [1]. W pracy przedstawiono metodykę przygotowania próbek, obejmującą mineralizację (mokrą i suchą), separację jonową oraz procedury zateżania analitów.

Do analizy polonu zastosowano spektrometrię alfa z osadzaniem Po na dyskach srebrnych oraz scyntylicyjną spektrometrię ciekłą (LSC) [2]. Oznaczanie uranu przeprowadzono metodą ICP-MS, uwzględniając wpływ efektów matrycowych oraz techniki redukcji interferencji, takie jak korekcja izotopowa i zastosowanie gazów reaktywnych. Przedstawiono również chromatograficzne metody separacji, w tym ekstrakcję ciecz-ciecz oraz chromatografię jonowymienną, umożliwiające izolację analitów i eliminację zakłóceń.

Analiza porównawcza metod wskazuje na kluczowe aspekty ich zastosowania: spektrometria alfa zapewnia wysoką selektywność dla Po, ale wymaga długotrwałej preparatyki [3], ICP-MS umożliwia szybkie i czułe oznaczanie U na poziomie ppt [4], natomiast LSC wybiera się dla próbek o wyższej aktywności Po-210. Optymalizacja procedur separacyjnych oraz redukcja interferencji są kluczowe dla poprawy precyzji i czułości pomiarów.

Podziękowania

Autorzy dziękują Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wsparcie finansowe tej pracy poprzez dotację DS-531-T030-D745-26.

Bibliografia

- [1] L'Annunziata, M.F. (2003). *Handbook of Radioactivity Analysis*. 2nd ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press
- [2] Pérez Sánchez, D., Martín Sánchez, A., Jurado Vargas, M. (2003). *²¹⁰Pb and ²¹⁰Po determination in environmental samples using liquid scintillation counting and alpha spectrometry*. Czechoslovak Journal of Physics, 53 (Suppl 1), A25-A30
- [3] Boryło, A. (2013). *Determination of uranium isotopes in environmental samples*. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 295(1), 621-631
- [4] Sixuan, L., Qiuju, G., Wenna, H., Zhongtang, W. (2018). *Measurement of uranium isotopes in environmental samples by ICP-MS*. Radiation Protection

Analiza zawartości ^{210}Po i izotopów uranu w składnikach środowiska poeksploatacyjnego w Sudetach

Klaudia Lanczewska-Bejenka^{1*}, Alicja Boryło¹, Bogdan Skwarzec¹

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Gdańsk

*E-mail: klaudia.lancewska@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: polon, uran, spektrometria alfa, bioindykator

W pracy przedstawiono wyniki analizy zawartości izotopów uranu oraz polonu w próbkach roślin i gleb pobranych z rejonu dawnej kopalni uranu w Kowarach (Sudety, Polska). Tereny pogórnice w Kowarach charakteryzują się podwyższonym potencjałem występowania naturalnych radionuklidów w środowisku, co związane jest z prowadzoną tam w przeszłości intensywną eksploatacją rud uranu. Pomimo że od zakończenia działalności górniczej minęło kilkadziesiąt lat, procesy migracji radionuklidów w środowisku, ich akumulacja w organizmach roślinnych oraz potencjalny wpływ na lokalne biocenozy pozostają istotnym przedmiotem badań. Analiza zawartości radionuklidów w komponentach środowiska jest kluczowa dla oceny stopnia skażenia, identyfikacji potencjalnych zagrożeń ekologicznych oraz planowania działań rekultywacyjnych i monitoringu radiologicznego.

Celem badań była ocena stopnia zanieczyszczenia środowiska naturalnego w rejonie dawnych wyrobisk uranowych oraz określenie możliwości bioakumulacji radionuklidów przez wybrane gatunki roślin występujące w ich bezpośrednim sąsiedztwie. Próbki roślinne i glebowe zostały pobrane w wybranych lokalizacjach zlokalizowanych w różnej odległości od historycznych miejsc eksploatacji. Materiał badawczy poddano odpowiedniemu przygotowaniu obejmującemu suszenie, mineralizację oraz radiochemiczną separację analizowanych izotopów. Oznaczenia wykonano metodą spektrometrii alfa.

Na podstawie uzyskanych widm alfa obliczono stężenia izotopów ^{210}Po , ^{234}U i ^{238}U w analizowanych próbkach oraz wyznaczono zakresy ich najwyższych i najniższych wartości. Dodatkowo oszacowano roczne dawki efektywne dla osób dorosłych wynikające z potencjalnej ekspozycji na badane radionuklidy. Uzyskane wyniki pozwalają na ocenę stopnia obecności naturalnych radionuklidów w środowisku pogórnym oraz wskazują na możliwość wykorzystania wybranych organizmów roślinnych jako bioindykatorów zanieczyszczenia radiologicznego.

Podziękowania

Autorzy dziękują Ministerstwu Nauki i Szkolnictwa Wyższego za wsparcie finansowe tej pracy poprzez dotację DS-531-T030-D745-26

Pluton ^{241}Pu w Zatoce Gdańskiej i Basenie Gdańskim

Dagmara Strumińska-Parulska¹, Grzegorz Olszewski^{1*}

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

*E-mail: grzegorz.olszewski@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: pluton ^{241}Pu , zasoby, Morze Bałtyckie, awaria w Czarnobylu

W oparciu o dostępne wyniki badań przeprowadzonych na Wydziale Chemii Uniwersytetu Gdańskiego, oszacowano zawartość antropogenicznego, beta promieniotwórczego plutonu ^{241}Pu w głównych składnikach ekosystemu Zatoki Gdańskiej i Basenu Gdańskiego. Do analiz wykorzystano próbki morskie (osady dennie, wody, zoobentos, fitobentos oraz ryby), zebrane z różnych obszarów południowego Morza Bałtyckiego w okresie od roku 1986 do 2004. Frakcję plutonową wydzielono za pomocą chromatografii jonowymiennej w roku poboru próbki, a analizę zawartości ^{241}Pu wykonano metodą pośrednią, za pomocą spektrometru alfa, poprzez pomiar przyrostu ^{241}Am po upływie co najmniej 10 lat od pierwszego pomiaru zawartości radionuklidów plutonu. Całkowitą aktywność ^{241}Pu w Zatoce Gdańskiej i Basenie Gdańskim (obliczoną na rok 2021) oszacowano odpowiednio na 1,99 TBq i 7,82 TBq, z czego 1,59 TBq i 6,38 TBq znajdowało się w osadach dennych. Wisła i Niemen oraz globalny opad atmosferyczny to główne źródła plutonu w analizowanych akwenach. W wodzie morskiej Zatoki Gdańskiej znajdowało się około 0,40 TBq ^{241}Pu (20,1% całkowitej aktywności), natomiast w wodzie Basenu Gdańskiego zawarte było 1,44 TBq ^{241}Pu (18,4% całkowitej aktywności). Aktywność ^{241}Pu zgromadzonego w organizmach żywych wynosiła 1,13 GBq w Zatoce Gdańskiej i 3,96 GBq w Basenie Gdańskim, z czego największa część ^{241}Pu zawarta była w zoobentosie – 55,7% ^{241}Pu zawartego w organizmach Zatoki Gdańskiej i 48,3% ^{241}Pu zawartego w organizmach Basenu Gdańskiego.

Radioanalityczna metoda oznaczania gadolinu ^{148}Gd w próbkach środowiskowych

Grzegorz Olszewski¹, Alexandr Malusek², Håkan Pettersson²

¹Katedra Chemii i Radiochemii Środowiska, Wydział Chemii, Uniwersytet Gdański, Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk, Polska

²Department of Medical Radiation Physics, and Department of Health, Medicine and Caring Sciences, Linköping University, 58183 Linköping, Szwecja

*E-mail: grzegorz.olszewski@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: ^{148}Gd , próbki środowiskowe

^{148}Gd , emiter α ($E_{\alpha} = 3,18$ MeV) o okresie półtrwania 86,9 roku [1], jest jednym z radionuklidów powstających w wyniku rozszczepienia wolframu i innych ciężkich pierwiastków i jest jednym z najważniejszych izotopów w przypadku problemu radiologicznego wskutek awarii w obiektach spalacyjnych wykorzystujących tarcze wolframowe. Spalacja zachodzi, gdy padające protony ($E > 100$ MeV) oddziałują z pojedynczymi atomami w jądrach tarczy.

W przypadku katastrofy źródła spalacyjnego (np. Europejskie Źródło Spalacyjne ESS w Lund w Szwecji), ^{148}Gd może zostać wyemitowany do środowiska, stwarzając realne zagrożenie dla ludności i środowiska naturalnego.

Opracowano metodę analizy ^{148}Gd z wykorzystaniem technik współstrącania, chromatografii jonowymiennej oraz chromatografii ekstrakcyjnej. Metodę opracowano, wykorzystując pomiar stabilnego gadolinu za pomocą metody ICP-MS. Wyznaczono wydajności poszczególnych etapów analizy radiochemicznej oraz sprawdzono możliwości rozdzielenia gadolinu od matrycy próbki i pozostałych metali ziem rzadkich.

Uzyskane wyniki znakowanych stabilnym gadolinem prób ślepych wskazują, że zastosowanie wieloetapowej analizy rozdzielenia gadolinu od matrycy próbki, aktywności oraz innych alfa emiterów, a na koniec wyodrębnienie gadolinu z frakcji metali ziem rzadkich, pozwala uzyskać maksymalną wydajność procesu na poziomie 75%.

Podsumowując, opracowano wieloetapową, powtarzalną metodę analizy ^{148}Gd w próbkach środowiskowych z docelowym wykorzystaniem spektrometrii alfa jako metody pomiarowej.

Bibliografia

[1] Chiera, N.M., Dressler, R., Sprung, P., Talip, Z., Schumann, D. (2023). "Determination of the half-life of gadolinium-148". *Applied Radiation and Isotopes* 194, 110708, 257. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2023.110708>

Sekwencyjne metody radiochemiczne w analizie zawartości ^{241}Am w próbkach gleby i osadów morskich

Dagmara Strumińska-Parulska^{1*}, Klaudia Block¹, Ljudmila Benedik²

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

²Jozef Stefan Institute, Department of Environmental Sciences, Jamova cesta 39, 1000, Ljubljana, Slovenia

*E-mail: dagmara.struminska@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: ameryk ^{241}Am , skażenie promieniotwórcze, chromatografia, ekstrakcja, analiza środowiska

Ocena zawartości radionuklidów sztucznych w środowisku ma kluczowe znaczenie dla oszacowania długofalowego wpływu przemysłu jądrowego i zrozumienia dynamiki ekosystemów. Dlatego też konieczne są precyzyjne metody analityczne w celu oznaczania radioizotopów w próbkach środowiskowych. ^{241}Am jest długożyciowym produktem rozpadu ^{241}Pu i jego aktywność w środowisku będzie rosła w ciągu najbliższych 50 lat.

Celem badania było porównanie istniejących sekwencyjnych metod radiochemicznych analizy ^{241}Am i ich ocena pod względem precyzji i dokładności. Porównano cztery metody radiochemiczne oznaczania ^{241}Am w próbkach gleby i osadów morskich z wykorzystaniem spektrometrii cząstek alfa. Ta technika odgrywa kluczową rolę w ilościowym oznaczaniu nisko aktywnych zanieczyszczeń promieniotwórczych w próbkach osadów dennych i gleby.

Procedurę zoptymalizowano, wykorzystując materiały referencyjne przygotowane przez IAEA: osady denne (IAEA-300, IAEA-384 i IAEA-385) i glebę (IAEA-327 i IAEA-375). Próbki zmineralizowano, pierwiastki rozdzielono i oczyszczono na żywicy anionowymiennej (AG 1X8) i żywicach chromatograficznych (UTEVA, TRU). Oceniono również skuteczność metody usuwania żelaza z próbek geologicznych wykorzystując strącanie szczawianem wapnia. Do przygotowania preparatów pomiarowych wykorzystano współstrącanie z fluorkiem neodymu (NdF_3). W trakcie analiz wykluczono jedną z metod radiochemicznych oznaczania ^{241}Am w próbkach osadów i gleby (metoda D).

Ocena radioaktywności pieprznika jadalnego (*Cantharellus cibarius*) i jej wpływ na zdrowie człowieka

Dagmara Strumińska-Parulska^{1*}, Karolina Szymańska¹, Jerzy Falandysz²

¹Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

²Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Wydział Farmaceutyczny, Katedra i Zakład Toksykologii, Muszyńskiego 1, 90-151 Łódź

*E-mail: dagmara.struminska@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, żywność, dawka skuteczna

Badania obejmują ocenę stopnia zanieczyszczenia i akumulacji oraz potencjalnego ryzyka zdrowotnego dla konsumentów grzybów z gatunku pieprznik jadalny (kurka) (*Cantharellus cibarius*) radionuklidami ¹³⁷Cs, ²¹⁰Po, ²¹⁰Pb i ⁴⁰K. Kurki zebrano na terenie Polski, a pomiary aktywności radionuklidów zostały wykonane przy pomocy spektrometrii alfa i gamma. Wartości stężenia aktywności antropogenicznego ¹³⁷Cs w grzybach wynosiły od 118 do 1647 Bq·kg⁻¹ suchej masy (s.m.), podczas gdy dla naturalnego ⁴⁰K od 1316 do 1895 Bq·kg⁻¹ s.m. Stężenia aktywności ²¹⁰Po w owocnikach *Cantharellus cibarius* wynosiły od 2,23 do 8,57 Bq·kg⁻¹ s.m., natomiast w glebie od 11,4 do 83,0 Bq·kg⁻¹ s.m. Z kolei stężenie ²¹⁰Pb mieściło się w przedziale od 1,50 do 6,14 Bq·kg⁻¹ s.m. w owocnikach i w zakresie 7,74-46,1 Bq·kg⁻¹ s.m. w glebie. Ocena rocznych dawek skutecznych i ryzyko zachorowania na nowotwór związany z konsumpcją grzybów z gatunku *Cantharellus cibarius* zawierających radionuklidy ¹³⁷Cs, ⁴⁰K, ²¹⁰Po i ²¹⁰Pb wykazała, że ¹³⁷Cs i ²¹⁰Po stwarzają podobne ryzyko, zaś ryzyko wynikające z rozpadu ⁴⁰K i ²¹⁰Pb jest 2-3 rzędy wielkości niższe.

Teoretyczne badania widm rentgenowskich będące podstawą diagnostyki plazmy tokamakowej

Katarzyna Słabkowska^{1*}

¹Katedra Chemii Kwantowej i Spektroskopii Atomowej, Wydział Chemii, Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu, ul. Gagarina 7, 87-100 Toruń

*E-mail: Katarzyna.slabkowska@umk.pl

W przypadku wysokotemperaturowej plazmy, ogromne znaczenie dla zapewnienia w przyszłości wydajnego i bezpiecznego dla ludzi i środowiska źródła energii będzie miał rozwój technologii wykorzystującej energię uwalnianą w wyniku kontrolowanej syntezy termojądrowej izotopów wodoru: deuteru i trytu. W wyniku syntezy termojądrowej można uzyskać dużo więcej energii niż z rozszczepienia ciężkich jąder najczęściej uranu w dotychczas działających elektrowniach. W razie wystąpienia jakichkolwiek uszkodzeń w działaniu reaktora, dojdzie do schłodzenia paliwa i do zatrzymania syntezy termojądrowej. Propozycja nowej diagnostyki dla wysokotemperaturowej plazmy generowanej w reaktorach termojądrowych typu tokamak, polega na dekompozycji rejestrowanych z wysoką zdolnością rozdzielczą widm rentgenowskich serii *M* wolframu oraz serii *L* molibdenu na uzyskane teoretycznie przyczynki, będące wynikiem modelowania tych widm (dla określonej temperatury i gęstości elektronowej plazmy) [1,2].

Uzyskane wyniki będą miały kluczowe znaczenie dla rozwoju metod wysokorozdzielczej diagnostyki rentgenowskiej parametrów wysokotemperaturowej plazmy generowanej w reaktorach termojądrowych typu tokamak (takich jak Joint European Torus, JET), które są rozwijane również w Polsce w ramach szerokiej współpracy międzynarodowej. Ponadto, wyniki te powinny w sposób istotny ukierunkować dalsze badania nad plazmą wytwarzaną w obecnie budowanym tokamaku ITER oraz przyszłych tokamakach nowej generacji (DEMO i PROTO), które będą jego następcami oraz określić ważne rekomendacje dla ciągle udoskonalanych systemów diagnostycznych.

Bibliografia

- [1] Słabkowska, K., Rzadkiewicz, J., Syrocki, Ł., Szymańska, E., Shumack, A., Polasik, M., Pereira, N.R., JET contributors. (2015). "On the interpretation of high-resolution x-ray spectra from JET with an ITER-like wall". *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* 48, 144028-1-7
- [2] Syrocki, Ł., Słabkowska, K., Węder, E., Polasik, M., Rzadkiewicz, J. (2020). "Theoretical modeling of high-resolution X-ray spectra emitted by tungsten and molybdenum Ions from tokamak plasmas". *Journal of Fusion Energy* 39, 194

Ocena radiologiczna gleb pod kątem występowania metali ciężkich i emiterów promieniowania gamma

Iwona Ostolska^{1*}, Lydia Babenko², Oksana Futorna^{2,3}, Sergiy Melniczuk⁴, Iryna Kosakivska², Małgorzata Wiśniewska¹, Ewa Skvarek¹

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Instytut Nauk Chemicznych, Lublin

²M.G. Kholodny Institute of Botany, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

³Educational and Scientific Institute of High Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Ukraine

⁴Private Joint-Stock Company „Myronivsky Hliboproduct”158, Kyiv, Ukraine

*E-mail: iwona.ostolska@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: zanieczyszczenia gleb, metale ciężkie, fluorescencja rentgenowska, spektrometria promieniowania gamma

Współczesne konflikty zbrojne powodują znaczne zanieczyszczenie środowiska, w tym zniszczenie pokrywy glebowej i akumulację substancji o charakterze toksycznych zanieczyszczeń [1]. Zbrojna agresja na terytorium Ukrainy doprowadziła do powstania licznych kraterów po ostrzałach rakietowych i artyleryjskich, co przyczyniło się do lokalnych zmian właściwości fizykochemicznych gleby i podwyższonych stężeń metali ciężkich [2]. Celem pracy była ocena wpływu detonacji amunicji na pH gleby, zawartość metali ciężkich oraz radionuklidów emitujących promieniowanie gamma na terenach rolniczych regionu dnipropropietrowskiego. Próbkę gleby pobrano z epicentrowy wybuchów powstałych w latach 2022–2023 oraz z odpowiadających im miejsc kontrolnych. Analizę pierwiastkową przeprowadzono za pomocą spektrometrii fluorescencji rentgenowskiej z dyspersją energii (ED-XRF), a pomiary gamma-spektrometryczne wykonano, używając detektora HPGe w geometrii koaksjalnej (ORTEC AMETEK) uwzględniając czas potrzebny do ustalenia się równowagi wiekowej pomiędzy Ra-222 a produktami jego rozpadu.

Otrzymane wyniki wskazują na obniżenie wartości pH gleby w porównaniu z miejscami kontrolnymi. Analiza pierwiastkowa wykazała statystycznie istotny wzrost poziomów ołowiu ($p < 0,001$), chromu ($p < 0,05$) i manganu ($p < 0,1$). Maksymalne stężenia osiągnęły 0,074% dla Pb i 0,623% dla Cr. Wyniki sugerują powstawanie trwałych antropogenicznych anomalii geochemicznych, a akumulacja Pb i Cr stanowi potencjalne zagrożenie dla wydajności rolnictwa i zdrowia publicznego. W kontekście pomiarów gamma-spektrometrycznych, aktywność Cs-137 zawierała się w granicach 0,34 - 53,7 Bq/kg. Naturalny ⁴⁰K występował w zakresie od 276,9 Bq/kg do 640,6 Bq/kg. Równoważnik aktywności radu mieścił się w zakresie 54,24-142,6 Bq/kg i we wszystkich przypadkach był znacznie poniżej progu bezpieczeństwa (370 Bq/kg). Natomiast wskaźnik gamma (I_γ) przekroczył wartość graniczną (1,0) w czterech próbkach.

Podziękowania

„Pomiary gamma – spektrometryczne zostały wykonane przy użyciu aparatury zakupionej ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki [inwestycja związana z działalnością naukową na zakup aparatury naukowo – badawczej/ nr 7325/IA/SP/2022].”

Bibliografia

- [1] Broomandi, P., Guney, M., Kim, J.R., Karaca, F. (2020). „Soil contamination in areas impacted by military activities: a critical review”. *Sustainability*, 12(21), 9002
- [2] Bakhmutov, V., Menshov, O., Poliachenko, I., Hlavatskyi, D. (2023). „Detecting War-Related Pollution of Soils Using Magnetic and Geochemical Methods”. *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment*, Kyiv, Ukraine

Naturalne sorbenty ze złoża Taganskoye (Wschodni Kazachstan): charakterystyka fizykochemiczna i środowiskowa analiza izotopowa

Ewa Skwarek^{1*}, M. Kaissina², Iwona Ostolska¹, D. Sovetkhanov², G. Daumova²

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Instytut Nauk Chemicznych, Lublin

²D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University, Oskemen, Kazakhstan

*E-mail: ewa.skwarek@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: glina bentonitowa z 11,12,13,14 horyzontu, zeolit, szungit, promieniowanie gamma, spektrometria gamma

W ostatnich latach obserwuje się rosnące zainteresowanie naturalnymi materiałami mineralnymi, które dzięki swojej strukturze i właściwościom powierzchniowym mogą pełnić rolę efektywnych i ekologicznych sorbentów zanieczyszczeń nieorganicznych i organicznych ze środowiska wodnego. Szczególne znaczenie w tym zakresie mają bentonity – skały ilaste, których głównym składnikiem jest minerał z grupy smektytów, najczęściej montmorylonit. Charakteryzują się one dużą powierzchnią właściwą, zdolnością do pęcznienia oraz wysoką pojemnością wymiany jonowej, co czyni je atrakcyjnymi materiałami do zastosowań w ochronie środowiska, przemyśle chemicznym, wiertniczym, budowlanym oraz w technologii materiałów kompozytowych. Jednym z regionów o znaczącym potencjale surowcowym bentonitów jest Wschodni Kazachstan, gdzie znajdują się liczne złoża glin ilastych o zróżnicowanym składzie mineralnym i chemicznym. Wśród nich szczególne miejsce zajmuje złożo Taganskoye, położone w rejonie Zaisan, znane z występowania bentonitów o wysokiej jakości i dużych zasobach (ok. 10 mln ton). W związku z tym istnieje potrzeba pogłębienia wiedzy na temat naturalnych materiałów sorpcyjnych, które mogą znaleźć zastosowanie w procesach oczyszczania wód i ścieków, a także w monitoringu środowiskowym. Bentonity z obszaru Taganskoye stanowią szczególnie interesujący obiekt badań ze względu na: wysoką zawartość montmorylonitu, który decyduje o zdolności wymiany jonowej i właściwościach sorpcyjnych; dostępność surowca i jego potencjał przemysłowy – złożo Taganskoye należy do największych i najlepiej udokumentowanych złóż bentonitu w Kazachstanie; zróżnicowany skład mineralny i chemiczny, który może wpływać na efektywność sorpcji różnych zanieczyszczeń, w tym metali ciężkich i radionuklidów; brak szczegółowych badań fizykochemicznych w literaturze międzynarodowej, co stwarza możliwość wniesienia nowych danych naukowych, możliwość praktycznego zastosowania wyników w opracowaniu nowych metod oczyszczania środowiska lub modyfikacji naturalnych sorbentów.

Pomiary próbek: glina bentonitowa z 11,12,13,14 horyzontu, zeolit, szungit wykonano przy użyciu spektrometru promieniowania gamma z detektorem germanowym w geometrii koaksjalnej (Ametek Ortec). Oznaczono zawartość naturalnie występujących radionuklidów (Th-232, Ra-226, U-235, K-40) oraz emitera promieniowania gamma pochodzenia antropogenicznego (Cs-137). Ponadto wykonano badania struktury powierzchni metodą ASAP, XRD, SEM oraz badania charakteryzujące podwójną warstwę elektryczną na granicy faz ciało stałe/elektrolit.

Podziękowania

„Pomiary gamma – spektrometryczne zostały wykonane przy użyciu aparatury zakupionej ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki [inwestycja związana z działalnością naukową na zakup aparatury naukowo – badawczej/ nr 7325/IA/SP/2022].”

Radionuklidy naturalne i antropogeniczne w liściach i glebach - badania środowiskowe

Ewa Skwarek^{1*}, Iwona Ostolska¹, Kornelia Drzał¹, Lizaveta Tuflina¹

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Instytut Nauk Chemicznych, Lublin

*E-mail: ewa.skwarek@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: liście, gleba, promieniowanie gamma, spektrometria gamma

W pracy przedstawiono wyniki badań środowiskowych dotyczących zawartości radionuklidów naturalnych i antropogenicznych w próbkach liści oraz gleb pobranych na terenie Parku Akademickiego Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie. Celem badań była ocena poziomu skażenia promieniotwórczego środowiska oraz określenie możliwości wykorzystania roślin jako bioindykatorów obecności radionuklidów w środowisku miejskim. Próbki gleby i liści wybranych gatunków drzew zebrano w kilku punktach pomiarowych na obszarze parku. Analizę zawartości radionuklidów przeprowadzono metodą spektrometrii gamma wysokiej rozdzielczości (HPGe) w geometrii koaksjalnej (Ametek Ortec). Oznaczono aktywności wybranych radionuklidów naturalnych, takich jak ^{40}K , ^{226}Ra i ^{228}Ac oraz radionuklidów pochodzenia antropogenicznego, w szczególności ^{137}Cs .

Uzyskane wyniki wskazują, że w badanych próbkach dominują radionuklidy naturalne związane głównie z geochemicznym składem gleby. W próbkach glebowych stwierdzono wyższe aktywności radionuklidów w porównaniu z materiałem roślinnym, co jest związane z ich naturalnym występowaniem w podłożu mineralnym. Obecność ^{137}Cs w glebie i liściach świadczy o długotrwałej depozycji radionuklidów antropogenicznych w środowisku, będącej pozostałością globalnych opadów promieniotwórczych oraz awarii reaktorów jądrowych głównie Czarnobyla.

Dodatkowo przeanalizowano relacje pomiędzy aktywnością radionuklidów w glebie, a ich zawartością w materiale roślinnym, co pozwoliło na wstępną ocenę współczynników transferu pomiędzy glebą a rośliną. Uzyskane zależności wskazują, że na stopień akumulacji radionuklidów wpływają zarówno właściwości fizykochemiczne gleby, jak i cechy biologiczne poszczególnych gatunków roślin.

Przeprowadzone badania potwierdzają przydatność analizy materiału roślinnego i glebowego w ocenie poziomu radioaktywności środowiskowej oraz wskazują na możliwość wykorzystania roślin jako bioindykatorów w monitoringu radiologicznym obszarów miejskich. Uzyskane wyniki stanowią istotny element oceny stanu radiologicznego środowiska na terenie kampusu akademickiego UMCS oraz mogą stanowić punkt odniesienia dla przyszłych badań monitoringowych prowadzonych na terenach zurbanizowanych.

Podziękowania

„Pomiary gamma – spektrometryczne zostały wykonane przy użyciu aparatury zakupionej ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki [inwestycja związana z działalnością naukową na zakup aparatury naukowo – badawczej/ nr 7325/IA/SP/2022].” Autorzy dziękują za pomoc w zbieraniu materiału badawczego studentom Wydziału Chemii UMCS w Lublinie.”

Ocena radiologiczna próbek wody i osadów dennych z rzek Irtysz i Ulba pobranych z okolic miasta Öskemen (Kazachstan)

Małgorzata Wiśniewska^{1*}, Zhanat Idrisheva², Iwona Ostolska¹, Togzhan Toktaganov², Ewa Skwarek¹, Shyngys Adakhanbek²

¹Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Instytut Nauk Chemicznych, Lublin

²D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University, School of Geoscience, Oskemen, Kazakhstan

*E-mail: malgorzata.wisniewska@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: osady denne, promieniowanie gamma, spektrometria gamma, próbki wody

Badania koncentrowały się na pomiarach stopnia skażenia promieniotwórczego wód powierzchniowych oraz osadów dennych pobranych z rzek Irtysz i Ulba, w bezpośrednim sąsiedztwie ważnego kazachskiego ośrodka przemysłowego, jakim jest miasto Öskemen. Celem analizy była ocena aktywności wybranych izotopów pochodzenia naturalnego oraz sztucznego, wynikająca z intensywnej działalności górniczo-przetwórczej regionu. Wyniki wskazują na lokalne anomalie radiologiczne w osadach, szczególnie w rejonach ujścia Ulby, co determinuje konieczność stałego monitoringu ekosystemów wodnych. Analiza uzyskanych rezultatów wykazała skumulowany wpływ zanieczyszczeń pochodzących

z zakładów przemysłowych, zarówno obecnie działających jak i już zamkniętych, na bezpieczeństwo radiologiczne północno-wschodniego Kazachstanu.

Pomiary próbek osadów dennych oraz wód rzecznych wykonano przy użyciu spektrometru promieniowania gamma z detektorem germanowym w geometrii koaksjalnej (Ametek Ortec). Oznaczono zawartość naturalnie występujących radionuklidów (Th-232, Ra-226, U-235, K-40) oraz emitera promieniowania gamma pochodzenia antropogenicznego (Cs-137). Przeprowadzone prace stanowią kolejny etap oceny i monitoringu radiologicznego terenów przemysłowych północno-wschodniego Kazachstanu w kontekście zanieczyszczenia środowiska substancjami radioaktywnymi pochodzącymi z zakładu przerobu rud toru i metali ziem rzadkich [1].

Podziękowania

„Pomiary gamma – spektrometryczne zostały wykonane przy użyciu aparatury zakupionej ze środków Ministerstwa Edukacji i Nauki [inwestycja związana z działalnością naukową na zakup aparatury naukowo – badawczej/ nr 7325/IA/SP/2022].”

Bibliografia

[1] Idrisheva, Z., Ostolska, I., Skwarek, E., Daumova, G., Wiśniewska, M., Toktaganov, T., Kozhakhmetov, Y. (2025). „Evaluation of Long-Term Environmental Impact and Radiological Risks at a Former Thorium and Rare Earth Site in North-Eastern Kazakhstan”. Sustainability, 17, 8569

Analiza zawartości radionuklidów gamma promieniotwórczych w profilach glebowych pobranych z terenu dawnego zakładu przerobu rud toru

Zhanat Idrisheva¹, Indira Uvaliyeva¹, Togzhan Toktaganov¹, Iwona Ostolska², Ewa Skwarek², Małgorzata Wiśniewska^{2*}

¹D. Serikbaev East Kazakhstan Technical University, School of Geoscience, Oskemen, Kazakhstan

²Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, Wydział Chemii, Instytut Nauk Chemicznych, Lublin

*E-mail: malgorzata.wisniewska@mail.umcs.pl

Słowa kluczowe: promieniowanie gamma, próbki gleb, Th-232, zagrożenie radiologiczne, odpady radioaktywne

Jednym ze skutecznych podejść do oceny stanu obszarów skażonych są pomiary radiochemiczne profili glebowych, które odzwierciedlają pionowy rozkład aktywności radionuklidów. Analiza uzyskanych danych pomaga określić głębokość penetracji radioizotopów, intensywność migracji i strefy akumulacji, co stanowi podstawę prognozowania zagrożeń dla środowiska, planowania działań w obrębie strefy skażenia i podejmowania decyzji dotyczących remediacji [1].

W niniejszej pracy przeanalizowano pionowy i poziomy rozkład naturalnej radioaktywności w glebach miejskich Öskemenu we wschodnim Kazachstanie, obszaru historycznie dotkniętego zanieczyszczeniami przemysłowymi. Zbadano łącznie 140 próbek gleby. Analizy obejmowały pomiary mocy dawki promieniowania gamma z odwiertów (na głębokości 0-100 cm) oraz pomiary z użyciem metod radiochemicznych, w tym spektrometrii alfa i spektrometrii gamma (Ra-226, Th-232). Wyniki wskazują na znaczny spadek aktywności wraz z głębokością próbkowania. Analiza danych wykazała liczne odchylenia od normy w aktywności emiterów promieniowania alfa, w warstwie gleby 0-50 cm. Wskazuje to na heterogeniczność przestrzenną, prawdopodobnie związaną z lokalnym skażeniem antropogenicznym. Podwyższone wartości Ra-226 i Th-232 w tym zakresie głębokości potwierdzają ten wniosek, a ich obecność może również odzwierciedlać częściowe naturalne pochodzenie, ze względu na charakterystykę geochemiczną terenu. Natomiast w warstwie 50–100 cm obserwuje się bardziej stabilne, zbliżone do tła poziome aktywności promieniotwórczej, co sugeruje ograniczoną migrację radionuklidów w głębszych warstwach gleby.

Podziękowania

„Wyniki badań naukowych zostały uzyskane w trakcie realizacji programu naukowo-technicznego nr BR24992854: Opracowanie i wdrożenie konkurencyjnych technologii naukowych zapewniających zrównoważony rozwój przemysłu wydobywczego i hutniczego obwodu wschodniokazachskiego.”

Bibliografia

[1] Idrisheva, Z., Uvaliyeva, I., Khassenova, Z., Amenova, F., Toktaganov, T., Daumova, G. (2025). „Spatial and In-Depth Analysis of Soil Radioactivity Based on the Visualization and Interpretation of Laboratory Data from Borehole Gamma-Ray Surveys and Radiochemical Methods”. *ES Energy and Environment*, 29, 1691

Specjacja Cs-137 w profilach glebowych regionu Anomalii Opolskiej

**Jerzy Pogrzeba¹, Aleksandra Ślusarczyk¹, Grzegorz Ołoś¹, Zbigniew Ziembik¹,
Daniel Janecki¹, Agnieszka Dołhańczuk-Śródka¹**

¹Uniwersytet Opolski, Instytut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii

*E-mail: jerzy.pogrzeba@uni.opole.pl

Słowa kluczowe: cez, specjacja, Anomalia Opolska

Izotop Cs-137 jest jednym z głównych radioizotopów cezu w środowisku, pochodzącym zarówno z globalnych opadów po testach broni jądrowej, jak i z awarii w Czarnobylskiej EJ. Ze względu na biochemiczne podobieństwo do potasu, izotop ten może być włączany do szlaków metabolicznych roślin i zwierząt, w tym człowieka, co sprawia, że jego obecność w glebie ma istotne znaczenie dla oceny ryzyka radiologicznego [1,2,3].

Celem niniejszego badania było określenie specjacji Cs-137 w profilach glebowych regionu Opolszczyzny. Analizie poddano różne poziomy gleby, tj. próchniczny, organiczny i mineralny oraz różne głębokości próbek. Określenie specjacji pozwoliło ocenić mobilność pierwiastka i jego potencjalną dostępność biologiczną.

Wyniki wskazują zróżnicowanie form Cs-137 w zależności od poziomu gleby i głębokości, co podkreśla konieczność uwzględniania specjacji w ocenie zagrożenia środowiskowego oraz w planowaniu działań remediacyjnych w regionach skażonych.

Podziękowania

Niniejsza praca została zrealizowana w MCBR UO (Międzynarodowym Centrum Badawczo-Rozwojowym Uniwersytetu Opolskiego) powstałym w ramach projektu współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego RPO WO 2014-2020 Działanie 1.2 Infrastruktura B+R. Umowa nr RPOP.01.02.00-16-0001/17-00 z dnia 31.01.2018 r.

Bibliografia

- [1] Mirończuk-Chodakowska, I., Kapała, J., Kujawowicz, K., Sejbuk, M., Witkowska, A. M. (2025). "Forty Years After Chernobyl: Radiocaesium in Wild Edible Mushrooms from North-Eastern Poland and Its Relevance for Dietary Exposure and Food Safety". *Toxics*, 13(7), 601
- [2] Łukaszek-Chmielewska, A., Stawarz, O., Isajenko, K., Piotrowska, B., Girard, M. (2018). "Radiological assessment of radionuclide contents in soils in Lower Silesian Voivodeship in the years 1988-2014". In *E3S Web of Conferences EDP Sciences*, 45, 00048
- [3] Niesiołowska, K. (2000). „Mobile Forms of Radionuclide ¹³⁷Cs in Sandy Soils in Northeastern Poland". *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(2), 133-136

Stężenie radonu Rn-222 w wodach podziemnych i powietrzu Jaskini Niedźwiedziej – wstępna charakterystyka środowiska radiologicznego

Aleksandra Ślusarczyk^{1*}, Agnieszka Dołhańczuk-Śródka¹, Zbigniew Ziembik¹, Jerzy Pogrzeba¹, Grzegorz Ołoś¹, Daniel Janecki¹

¹Institut Inżynierii Środowiska i Biotechnologii, Uniwersytet Opolski

*E-mail: aleksandra.kupczak@uni.opole.pl

Słowa kluczowe: radon, wody podziemne, powietrze jaskiniowe, promieniowanie jonizujące, Jaskinia Niedźwiedzia

Celem badań było określenie stężenia radonu Rn-222 w wodach podziemnych Jaskini Niedźwiedziej oraz wstępna identyfikacja potencjalnych źródeł promieniowania w środowisku jaskiniowym. Badania przeprowadzono na przełomie zimy i wiosny 2026 roku. Stężenie Rn-222 w wodach podziemnych oznaczano wykorzystując zestaw AquaKIT i monitor AlphaGUARD. Równolegle wykonano pomiary mocy dawki promieniowania jonizującego wykorzystując Inspector 1000. Uzupełnienie badań stanowiły pomiary stężenia radonu w powietrzu jaskiniowym, wykonane z zastosowaniem miernika AlphaGUARD. Pozwoliło to na porównanie poziomów Rn-222 w dwóch komponentach środowiska – wodach podziemnych i atmosferze jaskiniowej – oraz na wstępną ocenę możliwych zależności pomiędzy nimi. Uzyskane wyniki stanowią etap rozpoznawczy w charakterystyce warunków radiologicznych Jaskini Niedźwiedziej i mogą stanowić podstawę do dalszych badań nad migracją radonu w środowisku krasowym oraz jego związkiem z dynamiką cyrkulacji wód podziemnych.

Podziękowania

Niniejsza praca została zrealizowana w MCBR UO (Międzynarodowym Centrum Badawczo-Rozwojowym Uniwersytetu Opolskiego) powstałym w ramach projektu współfinansowanego ze środków Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego RPO WO 2014-2020 Działanie 1.2 Infrastruktura B+R. Umowa nr RPOP.01.02.00-16-0001/17-00 z dnia 31.01.2018 r.

Elektrodepozycja lantanu z roztworów wodnych pod kątem otrzymywania tarcz akceleratorowych

Mikołaj Jagieniak^{1*}, Michał Grdeń^{1,2}

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, Pasteura 1, Warszawa 02-093

²Centrum Nauk Biologiczno-Chemicznych, Uniwersytet Warszawski, Żwirki i Wigury 101, Warszawa 02-089

*E-mail: m Jagieniak280503@gmail.com

Słowa kluczowe: elektrodepozycja, tarcze akceleratorowe, lantan, lantanowce, radiofarmaceutyki

Lantanowce stanowią unikalną grupę pierwiastków o bardzo zbliżonych właściwościach chemicznych i fizycznych. Ich radioizotopy (np. La-135, Sm-153, Tb-149, Tm-165) znajdują zastosowanie w medycynie nuklearnej [1]. Do otrzymania tych izotopów, produkowanych w akceleratorach, wymagane jest przygotowanie tarcz akceleratorowych, a jedną z technik ich otrzymywania jest elektrodepozycja. Metoda ta ma przewagę nad innymi technikami, takimi jak walcowanie czy napylenie, ze względu na możliwość precyzyjnej kontroli grubości osadzonej warstwy poprzez powiązanie ładunku elektrycznego przepływającego przez układ z masą osadzonego metalu [2]. Ze względu na bardzo niskie potencjały standardowe lantanowców, najczęściej elektrodepozycję przeprowadza się w układach organicznych lub z cieczami jonowymi [3].

Celem niniejszej pracy była próba otrzymania warstw zawierających lantan na drodze elektrodepozycji z roztworów wodnych. Ze względu na podobieństwo chemiczne lantanowców, lantan może być traktowany jako wiarygodny reprezentant tej grupy. Aby ograniczyć wytrącanie się lantanu w postaci nierozpuszczalnego osadu $\text{La}(\text{OH})_3$, w wyniku wzrostu pH przy katodzie wskutek elektrolizy wody, zastosowano różne czynniki kompleksujące jony La^{3+} . Analizie poddano wpływ składu kąpieli (stężenie La^{3+} , rodzaj czynnika kompleksującego, pH) oraz parametrów osadzania (potencjał, gęstość prądu) i rodzaju podłoża. Uzyskane osady zbadano m.in. za pomocą widm XRF, XPS oraz zdjęć SEM. Stwierdzono, że zastosowanie czynników kompleksujących pozwala znacznie, choć niecałkowicie, ograniczyć wytrącanie się wodorotlenku lantanu i umożliwia uzyskanie osadów zawierających lantan, co potwierdziły analizy XRF i XPS. Najwyższą zawartość lantanu w próbce uzyskano w układzie z katodą złotą oraz roztworem zawierającym 0,18 M La i 0,24 M EDTA przy pH = 5,3 i potencjale -4 V vs. Ag|AgCl. Osadzone warstwy były bardzo niejednorodne i charakteryzowały się złożoną strukturą, nie spełniając kryteriów dla tarcz akceleratorowych. Niemniej jednak zastosowane podejście sugeruje możliwość uzyskania osadów o znacznie lepszej jakości przy doborze m.in. odpowiednich związków kompleksujących.

Podziękowania

Autorzy dziękują dr. hab. Adamowi Lewerze (CNBCh, UW), prof. ucz. oraz dr. Maciejowi Gorzkowskiemu (CNBCh, UW) za wykonanie pomiarów XPS.

Bibliografia

- [1] Radzina, M., et al. (2023). „Novel radionuclides for use in Nuclear Medicine in Europe: where do we stand and where do we go?”. *EJNMMI Radiopharmacy and Chemistry*, 8(1), 27
- [2] Stolarz, A. (2019). „Target preparation for research with charged projectiles”. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 299(2), 913-931
- [3] Rudnev, A.V. (2020). „Electrodeposition of lanthanides from ionic liquids and deep eutectic solvents”. *Russ. Chem. Rev.*, 89(12), 1463-1482

Badanie struktury i właściwości cienkich warstw toru

Fryderyka Wachnicka-Grymuza¹

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Chemii, Warszawa
E-mail: mh.wachnicka@student.uw.edu.pl

Słowa kluczowe: rentgenowska reflektometria i dyfrakcja poślizgowa, tor, tlenki toru, cienkie warstwy, nowoczesne paliwa jądrowe, procesy utleniania

Tor (Th) ze względu na swoje rozpowszechnienie w skorupie ziemskiej jest pierwiastkiem o rosnącym znaczeniu dla nowoczesnej energetyki jądrowej, ponieważ stanowi obiecującą alternatywę dla konwencjonalnych paliw jądrowych opartych na izotopach uranu [1]. Tor i jego tlenki są coraz częściej postrzegane jako element przyszłych, niskoemisyjnych i zrównoważonych systemów energetycznych. Zrozumienie ich struktury, reaktywności oraz zachowania w warunkach zbliżonych do pracy reaktora jest zatem niezbędne do projektowania paliw jądrowych nowej generacji [2].

W niniejszej pracy zastosowano szereg metod badawczych, w tym dyfrakcję promieniowania rentgenowskiego przy małych kątach padania tzw. dyfrakcję poślizgową (Grazing Incidence X-ray Diffraction, GIXRD), skaningową mikroskopię elektronową (SEM), spektroskopię rentgenowską z dyspersją energii (EDXS), spektroskopię fotoelektronów rentgenowskich (XPS), reflektometrię rentgenowską (XRR) oraz mikroskopie optyczną w celu analizy i zrozumienia procesu utleniania cienkich warstw metalicznego toru osadzonych metodą napyłania w polu magnetycznym (magnetron sputtering) na podłożach SiO₂/Si.

Przedstawione badania wykazały:

- Pomiary EDXS potwierdziły oczekiwany skład pierwiastkowy próbek. Badania z użyciem XRR, SEM i mikroskopii optycznej wykazały defekty powierzchniowe w warstwach.
- Badania GIXRD były przeprowadzone funkcji czasu przez okres około 3 miesięcy począwszy od pierwszej ekspozycji próbek na działanie tlenu atmosferycznego. Prowadzono je również dla różnych temperatur i w różnych środowiskach atmosferycznych wskazując na całkowite utlenienie metalicznego toru. Między warstwami toru i dwutlenku toru zaobserwowano jednak istnienie dodatkowej fazy, która może być niestechiometrycznym tlenkiem toru. Była ona obserwowana w każdej badanej próbce, niezależnie od procesów, którym tę próbkę poddawano (czas, temperatura).

Podziękowania

Autorka dziękuje prof. J. Majewskiemu oraz prof. K. Woźniakowi za wsparcie w prowadzeniu badań.

Bibliografia

- [1] Drera, S., Bjork, K., Kelly, J. (2014). „Thorium fuel production and results from beginning of life irradiation”. *Progress in Nuclear Energy*, tom 72, s. 5-10
- [2] Humphrey, U., Khandaker, D. (2018). „Viability of thorium-based nuclear fuel cycle for the next generation nuclear reactor: Issues and prospects”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, tom 97, s. 259-275

Ocena przydatności węgla aktywnego o zmodyfikowanej powierzchni w procesie usuwania wybranych radionuklidów z roztworów wodnych

Agata Oszczak-Nowińska^{1*}, Leon Fuks², Joanna Fronczyk³, Andrzej Świątkowski¹

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Warszawa

²Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

³Szkoła Gówna Gospodarstwa Wiejskiego, Warszawa

*E-mail: agata.oszczak@wat.edu.pl

Słowa kluczowe: węgiel aktywny, adsorpcja, izotopy promieniotwórcze

W nadchodzących latach przewiduje się wzrost globalnej produkcji odpadów promieniotwórczych, co wynika z rosnącego zainteresowania energetyką jądrową. Skuteczne ograniczenie wpływu izotopów promieniotwórczych na środowisko wymaga efektywnych metod zarządzania odpadami promieniotwórczymi. Odpady promieniotwórcze zawierające izotopy promieniotwórcze takie jak Cs(I), Sr(II), Co(II) i Am(III) stanowią zagrożenie dla ludzi oraz środowiska naturalnego [1]. Istnieje wiele klasycznych metod ich usuwania z próbek wodnych. Alternatywną metodą eliminacji izotopów promieniotwórczych ze ścieków jest proces sorpcji z wykorzystaniem tanich, naturalnych materiałów pochodzenia biologicznego.

Praca koncentruje się na zbadaniu skuteczności komercyjnego węgla aktywnego oraz jego dwóch modyfikacji powierzchniowych – płukania gorącą wodą destylowaną i utleniania 30% H₂O₂ – w usuwaniu radionuklidów Cs(I), Sr(II), Co(II) i Am(III) z roztworów wodnych. Próbkę scharakteryzowano pod względem powierzchni właściwej, struktury porowatej oraz chemicznej natury powierzchni. Proces adsorpcji analizowano w różnych warunkach, uwzględniając wpływ pH roztworu i masy adsorbentu. Najwyższą efektywność usuwania uzyskano dla Co(II) i Am(III), natomiast Cs(I) i Sr(II) wykazywały umiarkowaną podatność na sorpcję. Zastosowane modyfikacje węgla aktywnego prowadziły jedynie do niewielkich zmian w jego właściwościach sorpcyjnych. Wyniki wskazują, że komercyjny węgiel aktywny może stanowić użyteczny, choć ograniczony, sorbent do usuwania wybranych radionuklidów z roztworów wodnych [2].

Podziękowania

„Praca została sfinansowana ze środków UGB 531-000092-W900-22”

Bibliografia

- [1] Tan, JP., Clyde, CW., Ng, CC. (2024). "Advancements in microbial-mediated radioactive waste bioremediation: a review". *J Environ Radioact.* 280:107530–107553
- [2] Oszczak-Nowińska, A., Fuks, L., Fronczyk, J., Świątkowski, A. (2025). "Assessment of the suitability of activated carbon with a modified surface for the adsorptive removal of radionuclide ions from aqueous solutions". *Environmental Science and Pollution Research*, 32: 9775-9784

Polielektrolitowe kompleksy jako sorbenty w procesie usuwania wybranych radionuklidów z roztworów wodnych

Agata Oszczak-Nowińska^{1*}, Ewa Topyła², Leon Fuks², Kamil Brzoska², Karol Zalewski¹

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii, Warszawa

²Instytut Chemii i Techniki Jądrowej, Warszawa

*E-mail: agata.oszczak@wat.edu.pl

Słowa kluczowe: chitozan, alginian sodu, sorpcja, izotopy promieniotwórcze

Prognozuje się, że w najbliższych latach ilość produkowanych odpadów promieniotwórczych będzie wzrastać wraz z rosnącym wykorzystaniem energetyki jądrowej. W związku z tym kluczowe staje się badanie i opracowywanie metod remediacji zdolnych do usuwania radionuklidów z odpadów promieniotwórczych, w tym tych uwalnianych do środowiska [1,2]. Odpady promieniotwórcze zawierające izotopy promieniotwórcze takie jak Cs(I), Sr(II), Co(II) i Am(III), stanowią zagrożenie dla ludzi oraz środowiska. Istnieje kilka metod ich usuwania z próbek wodnych, cieków wodnych i odpadów. Alternatywną metodą eliminacji izotopów promieniotwórczych ze ścieków jest sorpcja z wykorzystaniem tanich, naturalnych materiałów pochodzenia biologicznego. Do głównych zalet tej metody w porównaniu z konwencjonalnymi technikami należą: niski koszt, łatwa regeneracja biosorbentu oraz możliwość odzysku metali [3].

Niniejsza praca koncentruje się na syntezie sorbentów hydrożelowych opartych na kompleksie polielektrolitowym (PEC) chitozanu i alginianu sodu oraz na badaniu procesu sorpcji izotopów promieniotwórczych ¹³⁷Cs(I), ⁸⁵Sr(II), ⁶⁰Co(II) i ²⁴¹Am(III). Proces sorpcji analizowano w zależności od pH roztworu oraz czasu kontaktu roztworu z sorbentem. Wykonano pomiar aktywności roztworów za pomocą spektrometrii promieniowania γ z wykorzystaniem detektora germanowego o wysokiej czystości. Dane równowagowe analizowano przy użyciu izoterm sorpcji Langmuira, Freundlicha oraz Dubinina-Raduszkiewicza. Kompleks PEC scharakteryzowano za pomocą SEM, SLMK oraz TGA/DTG. Zdolność sorpcyjna PEC została określona na podstawie współczynników oczyszczania (%R) oraz współczynników podziału Kd.

Podziękowania

„Praca została sfinansowana ze środków UGB 531-000092-W900-22”

Bibliografia

- [1] Liu, H., Tong, L., Su, M., Chen, D., Song, G., Zhou, Y. (2023). "The latest research trends in the removal of cesium from radioactive wastewater: a review based on data-driven and visual analysis". *Sci. Total Environ.*, 869, 161664
- [2] Ma, Z., Ranjith, PG., Rathnaweera, TG., Kong, L. (2019). "Review of application of molecular 28 simulations in geological high-level radioactive waste disposal". *Appl. Clay Sci.*, 168, 29 436-449
- [3] Ahmad, WA., Jaapar, J., Mior Ahmad, KMZ. (2004). "Removal of heavy metals from wastewater". In: Pandey A (ed): *Concise encyclopedia of bioresource technology*, The Haworth Press Inc., New York, pp 152-157

Zagrożenia terrorystyczne dla infrastruktury jądrowej w świetle współczesnych konfliktów zbrojnych i incydentów bezpieczeństwa

Klaudia Rzadkowska^{1*}, Patrycja Bryczek-Wróbel¹

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania, Warszawa

*E-mail: klaudia.rzadkowska@wat.edu.pl

Słowa kluczowe: infrastruktura jądrowa, terroryzm, bezpieczeństwo strategiczne, materiały rozszczepialne, MAEA, brudna bomba

Infrastruktura jądrowa, obejmująca elektrownie jądrowe, zakłady wzbogacania uranu, składowiska odpadów promieniotwórczych oraz ośrodki badawcze, stanowi istotny element bezpieczeństwa energetycznego i strategicznego państw [1]. Praca ma charakter analityczno-przeładowy i opiera się na krytycznej analizie literatury przedmiotu, danych Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej oraz wybranych studiów przypadków dotyczących incydentów bezpieczeństwa i prób sabotażu [2].

W opracowaniu wyodrębniono główne kategorie zagrożeń dla infrastruktury jądrowej, obejmujące ataki fizyczne, działania cybernetyczne, sabotaż wewnętrzny oraz próby pozyskania materiałów promieniotwórczych i rozszczepialnych [2]. Analiza przypadków, w tym zdarzeń w Belgii [3], Iranie oraz incydentu w Czarnobylu z lutego 2025 r. [4], wskazuje, że współczesne zagrożenia mają charakter złożony i coraz częściej rozwijają się na styku działań kinetycznych, destabilizacji hybrydowej oraz presji psychologicznej ukierunkowanej na infrastrukturę krytyczną.

Na podstawie zestawienia danych źródłowych wskazano, że szczególnie wrażliwym obszarem pozostaje transport materiałów promieniotwórczych, według danych MAEA w latach 1993-2023 odnotowano 4243 incydenty związane z niekontrolowanym obrotem materiałami jądrowymi, z czego 350 przypadków (8,3%) dotyczyło nielegalnego handlu lub potencjalnego wykorzystania do celów terrorystycznych, a 52% kradzieży miało miejsce podczas transportu [1].

Wnioski z analizy potwierdzają potrzebę wzmocnienia wielowarstwowych systemów ochrony oraz rozwijania procedur reagowania na scenariusze obejmujące zarówno sabotaż, jak i możliwość użycia materiałów promieniotwórczych do celów terrorystycznych, w tym w postaci radiologicznych urządzeń rozproszonych (tzw. "brudnych bomb") [5].

Podziękowania

„Praca została sfinansowana przy wsparciu MNiSW w ramach projektu nr RID/SP/0042/2024/01 pt. „Podniesienie kompetencji w zakresie identyfikacji zagrożeń związanych z materiałami niebezpiecznymi”, realizowanego w WAT w latach 2024–2027.”

Bibliografia

- [1] Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej. IAEA Incident and Trafficking Database (ITDB). (2024). Fact Sheet. Wiedeń: IAEA
- [2] Bunn, M., Roth, N., Tobey, W. (2016). "Preventing Digital Age Terrorism: The Case of Nuclear Infrastructure". Cambridge: Belfer Center for Science and International Affairs
- [3] Smith, G., Jones, L. (2017). "Lessons from the 2016 Brussels Attacks: Vulnerabilities of Nuclear Power Plants". *Journal of Strategic Security*, 10(3):42-58
- [4] Państwowa Agencja Atomistyki. (2025). Raport dotyczący bezpieczeństwa obiektów jądrowych w kontekście naruszeń strefy wykluczenia. Warszawa: PAA
- [5] Międzynarodowa Agencja Energii Atomowej. (2020). Objective and Essential Elements of a State's Nuclear Security Regime. *Nuclear Security Series* (20):1-15

Nowoczesne techniki detekcji i identyfikacji radionuklidów w warunkach zdarzeń o charakterze CBRN: wyzwania dla mobilnych laboratoriów radiochemicznych

Barbara Wiaderek^{1*}

¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Bezpieczeństwa, Logistyki i Zarządzania, Warszawa

*E-mail: barbara.wiaderek@wat.edu.pl

Słowa kluczowe: detekcja, bezpieczeństwo radiochemiczne, CBRN

Szybka identyfikacja nieznanymi źródeł promieniowania w terenie zurbanizowanym wymaga odejścia od prostego alarmowania na podstawie mocy dawki na rzecz georeferencyjnej spektrometrii gamma z analizą pełnego widma. Problemem kluczowym jest silnie zmienne tło miejskie, kształtowane przez materiały budowlane, produkty rozpadu radonu, opad atmosferyczny oraz lokalne źródła NORM (ang. Naturally Occurring Radioactive Material), co utrudnia wykrywanie słabych i częściowo ekranowanych źródeł oraz zwiększa ryzyko alarmów fałszywych [1,2,3]. W tych warunkach przewagę uzyskują algorytmy pełnowidmowe, obejmujące adaptacyjne modelowanie tła, detekcję anomalii spektralnej, podejście bayesowskie i klasyfikację z użyciem sieci neuronowych, ponieważ pozwalają odróżniać naturalne fluktuacje środowiskowe od sygnatur celowego skażenia radiologicznego, w tym scenariusza RDD (ang. Radiological Dispersal Device) [2,3,4]. W zdarzeniach CBRN (ang. Chemical, Biological, Radiological and Nuclear) nadal niedostatecznie walidowanym zagadnieniem pozostaje sprzężenie rozpoznania radiologicznego i chemicznego. Obecność toksycznych gazów nie zmienia bezpośrednio mechanizmu scyntytacji, lecz wymusza pracę aparatury w obudowach szczelnych lub przeciwwybuchowych, ogranicza wymianę ciepła i utrudnia obsługę serwisową. W rezultacie rośnie znaczenie wpływu temperatury, wilgotności i dryftu energetycznego na stabilność detektorów scyntyacyjnych, zwłaszcza NaI(Tl), dla których zmiany termiczne mogą przesunąć położenie pików i pogarszać wiarygodność identyfikacji izotopowej [4]. Oznacza to, że mobilne laboratorium radiochemiczne powinno integrować dane spektrometryczne z równoczesnym monitoringiem chemicznym i środowiskowym [1,5]. Nadal słabo zwalidowaną kwestią pozostaje przenoszalność algorytmów uczonych na danych kontrolowanych do rzeczywistych pomiarów miejskich [2,3,4]. Dlatego rozwój mobilnych laboratoriów radiochemicznych powinien koncentrować się na wyjaśnialnych algorytmach klasyfikacyjnych, automatycznej stabilizacji widma i walidacji systemów w rzeczywistych trajektoriach pomiarowych. O przewadze operacyjnej nie będzie decydować sam detektor, lecz zdolność całego układu do wiarygodnego rozróżnienia tła naturalnego, incydentu przemysłowego i intencjonalnego skażenia [1–4].

Podziękowania

Praca została sfinansowana przy wsparciu MNiSW w ramach projektu nr RID/SP/0042/2024/01 pt. „Podniesienie kompetencji w zakresie identyfikacji zagrożeń związanych z materiałami niebezpiecznymi”, realizowanego w WAT w latach 2024–2027”.

Bibliografia

- [1] Marques, L., Vale, A., Vaz, P. (2021). „State-of-the-Art Mobile Radiation Detection Systems for Different Scenarios”. *Sensors* (Basel), 21(4), 1051
- [2] Mukhopadhyay, S., Maurer, R., Wolff, R., Guss, P., Mitchell, S. (2015). „Radiation anomaly detection algorithms for field-acquired gamma energy spectra”. *Proc SPIE*, 9593, 95930S
- [3] Bobin, C., Bichler, O., Lourenço, V., Thiam, C., Thévenin, M. (2016). „Real-time radionuclide identification in γ -emitter mixtures based on spiking neural network”. *Appl Radiat Isot*, 109, 405-409
- [4] Bilton, K.J., Belisle, R.A., Kettlitz, M., Bandstra, M.S., Luke, S.J., Vetter, K. (2021). „Neural Network Approaches for Mobile Spectroscopic Radiation Detection”. *Rad*, 2(2), 238-251

Novel Lapatinib-Based Conjugates for Labelling with Technetium-99m

Przemysław Koźmiński*, Ewa Gniazdowska, Rafał Walczak

Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Centre of Radiochemistry and Nuclear Chemistry, Warsaw

*E-mail: p.kozminski@ichtj.waw.pl

Keywords: conjugates, technetium-99m, receptors (HER2, EGFR), radiopharmaceutical

Lapatinib (GW572016) is a small molecule developed by GlaxoSmithKline (GSK) that belongs to the class of kinase inhibitors. Its structure is based on a 4-anilinoquinazoline core, which serves as the principal hinge-binding motif responsible for interaction with kinase domains. It is a dual tyrosine kinase inhibitor that selectively targets the epidermal growth factor receptor (EGFR) and the human epidermal growth factor receptor 2 (HER2), both of which are overexpressed in several malignancies and play essential roles in tumour growth and metastasis [1,2].

Its strong receptor affinity and well-established clinical relevance make lapatinib an attractive candidate for the development of targeted radiopharmaceuticals.

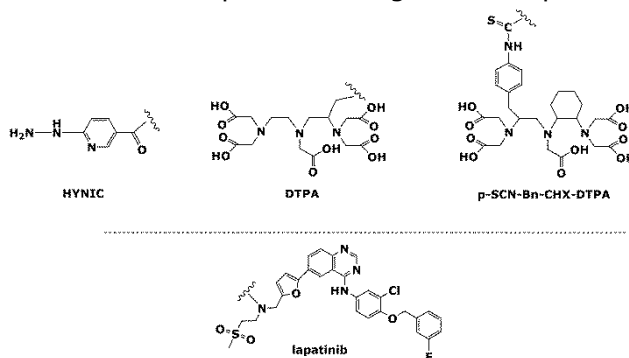


Figure 1. Lapatinib conjugates

The aim of this work was to synthesize and investigate the novel lapatinib conjugates incorporating bifunctional chelators suitable for technetium-99m labelling. The HYNIC, DTPA and p-SCN-Bn-CHX-DTPA were employed to introduce stable coordination sites for ^{99m}Tc , while preserving the biological functionality of the lapatinib moiety. The obtained conjugates represent promising precursors for the development of targeted radiopharmaceuticals for molecular imaging of HER2- and EGFR-expressing tumours.

Funding

„This research was funded by the International Atomic Energy Agency (IAEA) – research contract No. 28460 ‘Design, synthesis and evaluation of technetium-99m labelled lapatinib as a potential radioconjugate for breast cancer imaging’.”

References

- [1] Kumar, R., George, B., Campbell, M.R., Verma, N., Paul, A.M., Melo-Alvim, C., Ribeiro, L., Pillai, M.R., da Costa, L.M., Moasser, M.M. (2020). “HER family in cancer progression: From discovery to 2020 and beyond”. *Adv. Cancer Res.*, 147, 109-160
- [2] Rusnak, D.W., Alligood, K.J., Mullin, R.J., Spehar, G.M., Arenas-Elliott, C., Martin, A.M., Degenhardt, Y., Rudolph, S.K., Haws, T.F.Jr., Hudson-Curtis, B.L., Gilmer, T.M. (2007). “Assessment of epidermal growth factor receptor (EGFR, ErbB1) and HER2 (ErbB2) protein expression levels and response to lapatinib (Tykerb, GW572016) in an expanded panel of human normal and tumour cell lines”. *Cell Prolif.*, 40, 580-594

Adsorption Study of Radioactive Ruthenium onto Selected Mineral Clays: Red Clay, Halloysite and Bentonite

I. Zuba^{1,2}, A. Pawlukoć², J. Hetmańczyk³, M. Koziel³, Z. Surowiec⁴, P. Distler¹, J. John¹

¹Czech Technical University in Prague, Faculty of Nuclear Sciences and Physical Engineering Department of Nuclear Chemistry, Břehova 7, Prague, Czech Republic

²Institute of Nuclear Chemistry and Technology, Dorodna 16, Warsaw, Poland

³Jagiellonian University, Faculty of Chemistry, Gronostajowa 2, 30-387 Krakow, Poland

⁴Faculty of Mathematics, Physics and Computer Science, Maria Curie - Skłodowska University, 20-031 Lublin, Poland

Ruthenium-106 and ruthenium-103 are isotopes relevant to nuclear energy – they are fission products produced in nuclear power plants and occurring in the reprocessing process of the spent nuclear fuel [1]. During normal nuclear power plants operation, these isotopes are deposited in metallic form, while in emergency situations (extreme conditions: high temperature and oxidizing atmosphere) they easily form volatile oxides and may be released to the environment. Also, relatively large amounts of precious stable Ru are generated in nuclear reactors operation [2]. Among the fission products, ruthenium is one of the most difficult radionuclides to remove, because it forms a large number of complex compounds, can exist in several oxidation states and is produced with large fission yield with a relatively long half-life [3,4]. Another issue is the problem posed by the large amount of ruthenium contained in the high level liquid waste for vitrification. In the vitrification glass, ruthenium can sediment in forms such as RuO₂ or RuO, which can adversely affect the vitrification process [5]. Taking into account these facts, quantitative separation of Ru from different media is still a challenge.

In the presented study adsorption of Ru-103 by clays such as: red clay, bentonite and halloysite were examined. The physicochemical analysis for natural minerals was performed with XRD, SEM, IR, TG, and DSC techniques. Adsorption of ruthenium was studied by a batch equilibrium method at room temperature. The value of mass distribution coefficients of Ru-103 for bentonite, halloysite and red clay in hydrochloric, nitric and citric acids from concentration range (0,01-1M) were determined. The effects of contact time, adsorbent dose, and temperature on the ruthenium adsorption process were investigated. Furthermore, adsorption isotherms and kinetic models describing this process were determined.

Acknowledgements

We gratefully acknowledge the EU and Czech MEYS funded project CROP (CZ.02.01.01/00/22_011/0008569) and the HORIZON-EURATOM-2021-funded FREDMANS project (GA No. 101060800) for supporting this research.

References

- [1] Swain, P., Mallika, C., Srinivasan, R., Kamachi Mudali, U., Natarajan, R. (2013). "Separation and recovery for ruthenium: Review". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 298, 781-796
- [2] Wright, A.L. (1994). "Primary system fission product release and transport". Report NUREG/CR-6193, Oak Ridge National Laboratory
- [3] Kleykamp, H. (1985). "The chemical state of the fission products in oxide fuels". *Journal of Nuclear Materials*, 131(2), 221-246
- [4] Konings, R.J.M., Wiss, T., Benes, O. (2015). "Predicting material release during a nuclear reactor accident". *Nature Materials*, 14(3), 247-252
- [5] Laurin, C., Régnier, E., Gossé, S., Laplace, A., Agull, J., Mure, S., Brackx, E., Toplis, M., Pinet, O. (2021). "Redox behavior of ruthenium in nuclear glass melt: ruthenium dioxide reduction reaction". *Journal of Nuclear Materials*, 545, 152650



Przetestuj wybrane urządzenia oraz materiały zużywalne przed zakupem!

Nie masz pewności, czy wybrane przez Ciebie urządzenia lub materiały zużywalne będą odpowiednie do Twoich potrzeb?

Skontaktuj się z Nami! Posiadamy szeroką gamę urządzeń demonstracyjnych, a także próbek koktajli scyntylacyjnych i żywic dostępnych na bezpłatne testy.



Spopielacz próbek H-3 i C-14

Hidex Oxidzier to w pełni zautomatyzowany spopielacz próbek (H-3 i/lub C-14), służący do przygotowania próbek organicznych do pomiarów ciekłoscyntylacyjnych.



Ekstraktor radionuklidów

Hidex Q-ARE to system do automatycznej ekstrakcji radionuklidów z wykorzystaniem kolumn i żywic. Urządzenie pozwala na zaoszczędzenie wielu godzin na preparatyce próbek.



Materiały zużywalne, roztwory wzorcowe

Wyposażamy naszych klientów we wszystko co niezbędne na etapie preparatyki próbek - od zaawansowanych urządzeń, przez żywice i roztwory wzorcowe, po naczynia pomiarowe.

irtech

Urządzenia do pomiarów promieniowania dla ochrony radiologicznej, radiochemii i medycyny nuklearnej



MIRION
TECHNOLOGIES

Spectroscopy and Scientific Analysis Systems



AEGIS - przenośny i laboratoryjny spektrometr z det. GC40, GX40, BE5030



Detektory HPGe chłodzone elektrycznie



A broad range of solutions for all of your low-background alpha/beta counting needs

Niskotłowe liczniki Alfa/Beta



Jest dostawcą systemów wiodących światowych producentów urządzeń do pomiaru promieniowania jonizującego dla nauki, medycyny, przemysłu jądrowego. Oferuje systemy firm: **MIRION Technologies (Canberra, MGP, MGPIH&B, Biodex, Capintec)** oraz **Berthold Technologies, PTW Freiburg, Tema Sinergie, Kromek**, oraz automatyczne liczniki scyntylacyjne alfa/beta/gamma firmy **REVVITY (PerkinElmer)**.



www.kkrcj2026.agh.edu.pl