

III Sympozjum
Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej

Współczesna ochrona radiologiczna na rzecz energetyki jądrowej i bezpieczeństwa państwa

Streszczenia wystąpień i prezentacji

Politechnika Warszawska
23 czerwca 2026 r.
https://pkor2026.is.pw.edu.pl/

Komitet Naukowy III Sympozjum Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej

prof. dr hab. inż. Paweł Olko – Przewodniczący Komitetu Naukowego
Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego, Polskiej Akademii Nauk

dr hab. inż. Michał Bonczyk, prof. GIG
Główny Instytut Górnictwa - Państwowy Instytut Badawczy

dr hab. Kamil Brzóska, prof. IChTJ
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

prof. dr hab. inż. Maciej Budzanowski
Instytut Fizyki Jądrowej im. Henryka Niewodniczańskiego, Polskiej Akademii Nauk

dr hab. Joanna Domienik-Andrzejewska, prof. IMP
Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera

dr hab. inż. Krzysztof Fornalski
Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska

dr inż. Michał Gryziński
Narodowe Centrum Badań Jądrowych

dr Paweł Krajewski
Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

prof. dr hab. Marcin Kruszewski
Instytut Chemii i Techniki Jądrowej

dr hab. Bogusław Michalik, prof. GIG
Główny Instytut Górnictwa - Państwowy Instytut Badawczy

dr hab. Jerzy Olszewski, prof. IMP
Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera

dr inż. Jakub Ośko
Narodowe Centrum Badań Jądrowych

Komitet Organizacyjny III Sympozjum Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej

Krzysztof Fornalski – Przewodniczący Komitetu Organizacyjnego
Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska

Daniel Kikoła
Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska

Adam Kisiel
Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska

Łukasz Koszuk
Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska

Grzegorz Niewiński
Wydział Mechaniczny Energetyczny i Lotnictwa, Politechnika Warszawska

Mirosław Szyłak-Szydłowski
Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Warszawska

Piotr Tulik
Wydział Mechatroniki, Politechnika Warszawska

Organizatorzy
III Sympozjum Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej

Wydział Fizyki
POLITECHNIKA WARSZAWSKA

Polskie Konsorcjum Ochrony Radiologicznej

POLSKIE KONSORCJUM OCHRONY RADIOLOGICZNEJ

Program Sympozjum

9:00 - 10:00 Rejestracja uczestników

10:00 - 10:05 Otwarcie III Sympozjum PKOR
(Dziekan Wydziału Fizyki PW, Dyrektor IFJ PAN)

10:05 - 10:35 Wykład otwierający: *Finnish Approach to Emergency Preparedness and Response, and Supporting Research*
Teemu Siiskonen, STUK, Finlandia

Sesja naukowa: Monitoring radiacyjny w Polsce

10:35 - 10:55 *Rola Instytutów badawczych w ochronie radiologicznej i monitoringu radiacyjnym w Polsce*
Michał Bonczyk (Główny Instytut Górnictwa - Państwowy Instytut Badawczy)

10:55 - 11:10 *Wpływ obiektów jądrowych na środowisko w warunkach normalnej eksploatacji*
Paweł Krajewski (Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej)

11:10 - 11:30 *Organizacja monitoringu wokół obiektu jądrowego*
Iwona Słonecka, Ernest Bugała (Polskie Elektrownie Jądrowe sp. z o.o.)

11:30 - 12:00 Przerwa kawowa

12:00 - 12:15 *Strategiczna Agenda Badawcza PKOR — rekomendacje kluczowych priorytetów badawczych w zakresie ochrony radiologicznej dla Polski*
Joanna Domienik-Andrzejewska (Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr med. Jerzego Nofera)

12:15 - 13:30 ***Panel dyskusyjny:*** *Nauka, regulacja, inwestycja – rola badań w systemie ochrony radiologicznej dla energetyki jądrowej i bezpieczeństwa państwa*
Krzysztof Fornalski (PW), Marcin Kwaśniewski (OSGE), Jerzy Chytła (SANEPID), Paweł Olko (PKOR), Krzysztof Prószyński (COAS)

13:30 - 14:30 Obiad i sesja plakatowa

Sesja naukowa: Gotowość i reagowanie na sytuacje awaryjne

14:30 - 14:45 *Wyzwania dla mobilnych laboratoriów detekcji skażeń w sytuacji zagrożeń CBRN*
Krzysztof Kozak (Instytut Fizyki Jądrowej PAN)

14:45 - 15:00 *Dozymetria biologiczna jako element dozymetrii awaryjnej*
Kamil Brzóska (Instytut Chemii i Techniki Jądrowej)

15:00 - 15:15 *Rozproszony monitoring radiacyjny – pomiary obywatelskie w kontekście energetyki jądrowej i zagrożeń CBRN (projekt CITISTRA)*
Anna Mrozik (Instytut Fizyki Jądrowej PAN)

15:15 - 15:30 *System wspomagania detekcji zagrożeń radiacyjnych opracowany w ramach projektu CHIMERA*

Katarzyna Wołoszczuk (Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej)

15:30 - 15:45 *Zaawansowane metody pomiarowe aktynowców w czasie normalnej pracy elektrowni jądrowej i w sytuacjach awaryjnych*
Anna Cwanek (Instytut Fizyki Jądrowej PAN)

15:45 - 16:00 *Sztuczna inteligencja w ochronie radiologicznej: szybkie modelowanie dyspersji atmosferycznej w terenach miejskich na potrzeby wspomagania decyzji w czasie rzeczywistym*
Anna Wawrzyńczak-Szaban (Narodowe Centrum Badań Jądrowych)

16:00 - 16:15 *Strefy oraz dystanse planowania awaryjnego dla obiektów jądrowych*
Piotr Kopka (Narodowe Centrum Badań Jądrowych)

16:15 – 16:30 Prezentacje 3 wybranych posterów

16:30 – 16:45 Podsumowanie i zakończenie sympozjum

Wykład otwierający

Finnish Approach to Emergency Preparedness and Response, and supporting research

Teemu Siiskonen

Measurements and Environmental Monitoring Department

Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK), P.O. Box 14, FIN-00881 Helsinki, Finland

e-mail: Teemu.Siiskonen@stuk.fi

Słowa kluczowe: Radiation protection, Emergency preparedness, Regulatory science, Uncertainty in decision-making

Changes in geopolitical situation, climate change, and new energy production methods challenge the current approach to radiation protection and emergency preparedness. This requires adaptation at all levels, from practical measurements to regulations, and decision-making in an emergency. New approaches must be based on sound scientific data and critically evaluated solutions. Uncertainties in decision-making processes must be understood. In this presentation I will introduce the role of STUK, Finnish radiation and nuclear safety authority, in national and international context as well as provide insight to STUK's approach how research and development activities support the regulatory and emergency response activities of an authority. Examples of selected research programs and projects will be given and the impact of the outcomes of these projects will be briefly discussed.

Sesja naukowa:
Monitoring radiacyjny w Polsce

Rola instytutów badawczych w ochronie radiologicznej i monitoringu radiacyjnym w Polsce

Michał Bonczyk

Śląskie Centrum Radiometrii Środowiskowej,

Główny Instytut Górnictwa – Państwowy Instytut Badawczy, Plac Gwarków 1, 40-166 Katowice

e-mail: mbonczyk@gig.eu

Słowa kluczowe: badania naukowe, ochrona radiologiczna, monitoring radiacyjny

Rozwój energetyki jądrowej, postępująca transformacja energetyczna oraz rosnące wymagania dotyczące bezpieczeństwa środowiskowego i zdrowia publicznego powodują, że instytuty badawcze odgrywają coraz istotniejszą rolę w krajowym systemie ochrony radiologicznej. W Polsce jednostki badawcze stanowią ważne zaplecze naukowe i eksperckie wspierające administrację publiczną, organy dozoru, przedsiębiorstwa oraz służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo radiacyjne.

Działalność instytutów badawczych obejmuje prowadzenie badań naukowych, rozwój i walidację metod pomiarowych, ocenę zagrożeń radiologicznych oraz doskonalenie systemów monitoringu radiacyjnego środowiska. Szczególne znaczenie mają badania dotyczące promieniotwórczości naturalnej i sztucznej, ochrony radiologicznej pracowników i ludności, radioekologii, przygotowania na zdarzenia radiacyjne oraz bezpiecznego wykorzystania technologii jądrowych. Instytuty uczestniczą również w krajowych i międzynarodowych programach porównań międzylaboratoryjnych, zapewniając wysoką jakość i wiarygodność wyników pomiarowych.

Istotnym obszarem aktywności jest udział w krajowym systemie monitoringu radiacyjnego, umożliwiającym bieżącą ocenę sytuacji radiacyjnej kraju oraz szybkie wykrywanie potencjalnych zagrożeń związanych z uwolnieniem substancji promieniotwórczych do środowiska. W ostatnich latach szczególnego znaczenia nabrały również działania związane z budowaniem kompetencji krajowych na potrzeby programu energetyki jądrowej oraz wdrażaniem międzynarodowych standardów ochrony radiologicznej.

Powstanie Polskiego Konsorcjum Ochrony Radiologicznej stworzyło nową platformę współpracy pomiędzy instytutami badawczymi, uczelniami i jednostkami administracji państwowej. Integracja potencjału badawczego i eksperckiego umożliwia skuteczniejsze prowadzenie badań, rozwój infrastruktury laboratoryjnej oraz kształcenie specjalistów w dziedzinie ochrony radiologicznej. Referat przedstawia aktualną rolę instytutów badawczych w Polsce oraz ich znaczenie dla zapewnienia bezpieczeństwa radiacyjnego państwa, ochrony środowiska i rozwoju nowoczesnych technologii jądrowych.

Wpływ obiektów jądrowych na środowisko w warunkach normalnej eksploatacji

Paweł Krajewski

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

E-mail: krajewski@clor.waw.pl

Ocena wpływu obiektów jądrowych na środowisko w warunkach normalnej eksploatacji obejmuje analizy związane zarówno z ich budową, jak i funkcjonowaniem, a jej celem jest wykazanie, że działalność instalacji nie prowadzi do degradacji środowiska i jest bezpieczna dla ludzi oraz przyrody. W ujęciu radiologicznym szczególną uwagę zwraca się na wpływ promieniowania jonizującego oraz uwalnianych radionuklidów na organizmy żywe, przy czym środowisko rozumiane jest szeroko i obejmuje człowieka, faunę, florę, glebę, wodę i powietrze.

Podstawy oceny wyznaczają regulacje prawne oparte na rekomendacjach międzynarodowych, które wymagają przygotowania raportu lokalizacyjnego zawierającego modele rozprzestrzeniania radionuklidów w środowisku oraz ocenę dawek otrzymywanych przez ludność. Ważnym elementem jest także monitoring środowiska, szczególnie izotopów takich jak tryt i węgiel C-14, ponieważ mogą one generować największe dawki przy normalnej eksploatacji. W analizach stosuje się m.in. pojęcie grupy odniesienia, czyli najbardziej narażonej części populacji.

Ocena wpływu opiera się na analizie scenariuszy uwolnień radionuklidów do atmosfery oraz wód powierzchniowych (rzek, jezior, morza), przy czym każdy przypadek wiąże się z innymi mechanizmami transportu i drogami narażenia, takimi jak wdychanie, spożycie skażonej żywności lub wody czy kontakt z promieniowaniem zewnętrznym. Obliczenia uwzględniają zarówno ekspozycję zewnętrzną, jak i wewnętrzną i prowadzone są dla długich okresów, zakładając ustalenie równowagi stężeń radionuklidów w środowisku.

Współczesne podejście do ochrony radiologicznej uwzględnia nie tylko ludzi, ale także bezpośredni wpływ promieniowania na faunę i florę, co wymaga prowadzenia zintegrowanych analiz dla całych ekosystemów. W tym celu stosuje się modele matematyczne (deterministyczne i probabilistyczne), których poprawność potwierdzana jest w ramach międzynarodowych programów badawczych.

Przykłady analiz pokazują, że w normalnych warunkach eksploatacji dawki promieniowania dla ludności są bardzo niskie i znacznie poniżej dopuszczalnych limitów, a głównym źródłem narażenia są emisje do środowiska wodnego oraz izotopy takie jak tryt i węgiel C-14. Podobnie wpływ na organizmy żywe jest niewielki i pozostaje daleko poniżej poziomów uznawanych za istotne biologicznie. W przypadku małych reaktorów modułowych stosuje się tę samą metodykę oceny co dla dużych elektrowni, choć skala wpływu jest zwykle mniejsza.

Podsumowując, wpływ obiektów jądrowych na środowisko przy normalnej eksploatacji jest niewielki, kontrolowany i skutecznie monitorowany dzięki rozwiniętym modelom, procedurom oceny oraz regulacjom prawnym.

Organizacja monitoringu wokół obiektu jądrowego

Iwona Słonecka, Ernest Bugała

Polskie Elektrownie Jądrowe Sp. z o.o.(PEJ)

e-mail: iwona.slonecka@pej.pl

Słowa kluczowe: monitoring radiacyjny, elektrownia jądrowa, ochrona radiologiczna, regulacje prawne, system monitoringu radiacyjnego

Monitoring radiacyjny wokół elektrowni jądrowych stanowi kluczowy element systemu zapewnienia bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej ludności oraz środowiska. W prezentacji przedstawione zostaną wymagania dotyczące organizacji i prowadzenia monitoringu radiacyjnego w otoczeniu elektrowni jądrowej, wynikające z przepisów ustawy Prawo atomowe, rozporządzenia w sprawie monitoringu radiacyjnego oraz Decyzji Generalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w sprawie określenia środowiskowych uwarunkowań realizacji przedsięwzięcia polegającego na budowie i eksploatacji pierwszej w Polsce Elektrowni Jądrowej o mocy elektrycznej do 3750 MWe, na obszarze gmin: Choczewo lub Gniewino i Krokowa. Omówione zostaną podstawowe cele prowadzenia monitoringu radiacyjnego, jego rodzaje, planowane etapy prowadzenia monitoringu oraz zakres w poszczególnych etapach realizacji inwestycji. Zaprezentowana zostanie planowana struktura systemu monitoringu, obejmująca zarówno pobór i analizę próbek środowiskowych, jak i stacjonarne systemy pomiarowe oraz oszacowany zasięg prowadzenia pomiarów. Omówione zostaną także wyniki dotychczas przeprowadzonych badań i wyciągnięte z nich wnioski.

Dodatkowo przedstawiona zostanie informacja w sprawie planowanego uruchomienia przetargu publicznego na pozyskanie usług związanych z realizacją monitoringu radiacyjnego środowiska oraz omówione zostaną potrzeby i oczekiwania Spółki w powyższym zakresie, m.in. wybór lokalizacji punktów oraz metod pomiarowych z uwzględnieniem uwarunkowań prawnych, środowiskowych i operacyjnych.

Strategiczna Agenda Badawcza PKOR — rekomendacje kluczowych priorytetów badawczych w zakresie ochrony radiologicznej dla Polski

Joanna Domienik-Andrzejewska

Instytut Medycyny Pracy im. prof. dr hab. Jerzego Nofera, Zakład Ochrony Rdiologicznej

e-mail: Joanna.Domienik@imp.lodz.pl

Słowa kluczowe: ochrona radiologiczna, dozymetria, skutki biologiczne promieniowania jonizującego, bezpieczeństwo jądrowe, monitoring środowiska

Strategiczna Agenda Badawcza dla Ochrony Radiologicznej w Polsce stanowi kompleksowy dokument wyznaczający priorytety badań podstawowych w tej dziedzinie na najbliższą dekadę. Jej opracowanie wynika z rosnącego znaczenia promieniowania jonizującego w energetyce, medycynie, przemyśle oraz kontekście zagrożeń cywilnych i militarnych, a także z potrzeby wzmocnienia krajowego potencjału badawczego przed planowanym uruchomieniem pierwszej elektrowni jądrowej w 2035 roku.

Agenda porządkuje działania badawcze poprzez identyfikację kluczowych obszarów i wyzwań, umożliwiając lepszą koordynację prac krajowych ośrodków naukowych oraz zwiększenie udziału Polski w europejskich inicjatywach badawczych. Dokument wpisuje się w kontekst europejskich strategii ochrony radiologicznej i służy jako narzędzie wspierające kształtowanie krajowej polityki naukowej i bezpieczeństwa publicznego.

Struktura agendy oparta jest na czterech komplementarnych obszarach badawczych: **Człowiek**, **Bezpieczeństwo**, **Energia** oraz **Środowisko**. Obejmują one m.in. badania biologicznych skutków promieniowania, rozwój nowoczesnych metod dozymetrii i radioterapii, przygotowanie na zdarzenia radiacyjne, bezpieczeństwo energetyki jądrowej oraz monitorowanie i modelowanie procesów środowiskowych związanych z obecnością radionuklidów.

Agenda podkreśla znaczenie interdyscyplinarności badań, integrujących fizykę, chemię, biologię, nauki medyczne, środowiskowe i społeczne, oraz wskazuje na potrzebę rozwoju nowych metod modelowania, analizy danych i technologii, w tym rozwiązań opartych na sztucznej inteligencji. Kluczowe wyzwania obejmują m.in. lepsze zrozumienie mechanizmów oddziaływania promieniowania, rozwój szybkiej dozymetrii w sytuacjach awaryjnych, poprawę bezpieczeństwa medycznych zastosowań promieniowania oraz integrację oceny ryzyka dla człowieka i środowiska.

W dokumencie wskazano również na istotne bariery systemowe, w szczególności brak dedykowanych mechanizmów finansowania badań w ochronie radiologicznej w Polsce. Jednym z kluczowych postulatów jest utworzenie specjalistycznego panelu tematycznego w Narodowym Centrum Nauki, który zapewni stabilne warunki rozwoju tej interdyscyplinarnej dziedziny.

Realizacja Strategicznej Agendy Badawczej przyczyni się do zwiększenia kompetencji naukowych i operacyjnych polskich zespołów, poprawy bezpieczeństwa radiologicznego oraz wzmocnienia pozycji Polski w europejskim i globalnym obszarze badań nad promieniowaniem jonizującym.

Literatura: STRATEGICZNA AGENDA BADAWCZA DLA OCHRONY RADIOLOGICZNEJ W POLSCE pod redakcją Pawła Olko, Beaty Brzozowskiej, Michała Gryzińskiego, Pawła Krajewskiego, Bogusława Michalika i Jakuba Ośko, wydanie drugie, lipiec 2025; https://doi.org/10.5281/zenodo.16412192

Sesja naukowa:
Gotowość i reagowanie na sytuacje awaryjne

Wyzwania dla mobilnych laboratoriów detekcji skażeń w sytuacji zagrożeń CBRN

Krzysztof Kozak

Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych

Instytut Fizyki Jądrowej PAN, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków

e-mail:Krzysztof.Kozak@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: promieniowanie jonizujące, sytuacje awaryjne, laboratoria mobilne, zagrożenia CBRN

Prezentacja przedstawi prawie 20 letnie doświadczenia Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych Instytutu Fizyki Jądrowej PAN z użytkowania mobilnego laboratorium spektrometryczno-dozymetrycznego CHIMERA Lab. Przedstawione zostaną obecne możliwości pomiarowe mobilnego laboratorium w pomiarach stężeń izotopów w środowisku, zarówno w sytuacji normalnej jak i w sytuacjach awaryjnych. Przedstawione zostaną też przykłady „ciekawych" pomiarów wykonanych w latach 2007-2026 w Polsce i na świecie. Omówione zostaną nowe wyzwania dla mobilnych laboratoriów detekcji skażeń w sytuacji zagrożeń CBRN oraz mogących wystąpić scenariuszy RRD (Radiological Dispersal Device), a także zalety i ograniczenia dla dostępnych obecnie platform laboratoriów mobilnych takich jak m.in. samochody, motocykle, drony, bezzałogowe pojazdy naziemne.

Dozymetria Biologiczna Jako Element Dozymetrii Awaryjnej

Kamil Brzóska

Zakład Naukowy – Centrum Radiobiologii i Dozymetrii Biologicznej,

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

e-mail: k.brzoska@ichtj.waw.pl

Słowa kluczowe: dozymetria awaryjna, radiobiologia, dozymetria biologiczna, promieniowanie jonizujące

Rozwój energetyki jądrowej, rosnące wykorzystanie promieniowania jonizującego w medycynie i przemyśle, a także niestabilność sytuacji geopolitycznej – i związany z nią wzrost zagrożenia proliferacją broni masowego rażenia oraz aktami terroryzmu – istotnie zwiększają prawdopodobieństwo wystąpienia zdarzeń radiacyjnych o dużej skali. W kontekście medycyny ratunkowej i triage'u, kluczowe znaczenie ma szybka i precyzyjna ocena stopnia ekspozycji na promieniowanie. Ekspozycja całego ciała na dawki poniżej 2 Gy w większości przypadków nie wywołuje deterministycznych skutków zdrowotnych w postaci ostrej choroby popromiennej i nie wymaga natychmiastowej interwencji medycznej. Z kolei dawki przekraczające 12–15 Gy charakteryzują się bardzo wysoką śmiertelnością, nawet w przypadku wdrożenia zaawansowanej i intensywnej opieki medycznej. Z tego względu kluczowym wyzwaniem staje się szybka identyfikacja osób, które otrzymały dawki w przedziale od 2 do 10 Gy, ponieważ w tej grupie pacjentów szybka i celowana pomoc medyczna ma decydujące znaczenie dla rokowania. Dodatkowo, retrospektywne oszacowanie dawki pochłoniętej jest niezbędne do prognozowania długoterminowych skutków stochastycznych, takich jak choroby nowotworowych i schorzenia układu krążenia.

W przypadku zdarzeń radiacyjnych o dużej skali, większość poszkodowanych osób nie będzie wyposażona w dawkomierze indywidualne, co wymusza zastosowanie metod dozymetrii awaryjnej do oszacowania dawki pochłoniętej. W takich scenariuszach można wykorzystać np. metody fizyczne, polegające na analizie elektronowego rezonansu paramagnetycznego (EPR/ESR) w szkliwie zębów lub elementach urządzeń elektronicznych (np. telefonów komórkowych). Równolegle zastosować można metody dozymetrii biologicznej, obejmujące ocenę częstości występowania chromosomów dicentrycznych, test mikrojądrowy oraz fluorescencyjną hybrydyzację in situ (FISH). Współcześnie za „złoty standard" w biodozymetrii uznaje się analizę częstości chromosomów dicentrycznych w limfocytach krwi obwodowej. Pomimo wysokiej swoistości i czułości, metoda ta pozostaje czasochłonna i charakteryzuje się niską przepustowością, co znacząco ogranicza jej użyteczność w warunkach nagłego, masowego napływu próbek do laboratorium.

Obecne ograniczenia klasycznej biodozymetrii próbuje się przełamać na dwa sposoby. Pierwszy z nich obejmuje intensywne prace nad aplikacją metod sztucznej inteligencji oraz uczenia maszynowego do automatycznej detekcji i analizy obrazów mikroskopowych, co pozwoliłoby radykalnie skrócić czas oczekiwania na wynik. Drugi kierunek opiera się na poszukiwaniu nowych biomarkerów dozymetrycznych na poziomie transkryptomu, proteomu oraz metabolomu, co otwiera drogę do rozwoju nowoczesnych technik wysokoprzepustowych.

Równolegle z pracami badawczo-rozwojowymi nad nowymi metodami dozymetrii biologicznej i awaryjnej dozymetrii fizycznej, kluczowym wyzwaniem pozostaje właściwe umiejscowienie laboratoriów specjalistycznych wykonujących tego typu analizy w krajowym systemie ochrony radiologicznej oraz powiązanie ich ze strukturami systemu ochrony zdrowia, ratownictwa medycznego i reagowania kryzysowego. Spójna koordynacja tych struktur jest niezbędna, aby w warunkach realnego zagrożenia pełen potencjał ekspercki i analityczny mógł zostać efektywnie wykorzystany.

Rozproszony monitoring radiacyjny - pomiary obywatelskie w kontekście energetyki jądrowej i zagrożeń CBRN (projekt CITISTRA)

Anna Mrozik*, Renata Kierepko, Mateusz Krzysiek, Paweł Olko, Agnieszka Szumska

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

**E-mail: anna.mrozik@ifj.edu.pl*

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

CITISTRA jest projektem, którego głównym celem jest ocena potencjału pomiarów obywatelskich jako uzupełnienia istniejących systemów monitorowania poziomu promieniowania jonizującego w środowisku, szczególnie w sytuacjach kryzysowych, takich jak konflikty zbrojne czy awarie jądrowe. Projekt jest realizowany w Polsce, Czechach i na Słowacji.

W ramach projektu detektory promieniowania jonizującego CzechRad zaprojektowane przez czeski National Radiation Protection Institute (SURO), zostały przekazane grupom zawodowym cieszącym się wysokim zaufaniem społecznym. Urządzenia wyposażone są w moduł GPS umożliwiający lokalizację punktów pomiarowych dzięki czemu istnieje możliwość tworzenia map rozkładu mocy dawki promieniowania jonizującego. Do Polski trafiło 200 detektorów, które zostały rozdystrybuowane między jednostki Państwowej Straży Pożarnej i Ochotniczej Straży Pożarnej, Wojska Obrony Terytorialnej, Stacje Sanitarno-Epidemiologiczne, Urzędy Gmin i Nadleśnictw wzdłuż granicy wschodniej Polski. Wszyscy 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 na obszarze ok 84 000 km^2 w pięciu województwach: śląskim, małopolskim, świętokrzyskim, podkarpackim i lubelskim. Rezultatem dwunastomiesięcznej kampanii pomiarowej będzie nie tylko stworzenie szczegółowych map rozkładu mocy dawki promieniowania jonizującego i wizualizacja danych na ogólnodostępnych mapach SafeCast, ale przede wszystkim przygotowanie lokalnych społeczności do działań w sytuacji kryzysowej. Projekt CITISTRA rozwija koncepcję rozproszonego monitoringu radiacyjnego opartego na pomiarach obywatelskich, które mogą stanowić skuteczne uzupełnienie stacjonarnych sieci pomiarowych, zwiększając rozdzielczość przestrzenną danych oraz umożliwiając szybsze wykrywanie anomalii radiacyjnych.

Zdobyte doświadczenia mogą zostać wykorzystane w przyszłości na terenach objętych rozwojem energetyki jądrowej w Polsce, stanowiąc element zwiększający transparentność aktualnych informacji na temat poziomu promieniowania jonizującego w środowisku, odporność państwa na zagrożenia radiacyjne oraz społeczną akceptację dla inwestycji jądrowych.

Podziękowania

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

System wspomagania detekcji zagrożeń radiacyjnych opracowany w ramach projektu CHIMERA.

Katarzyna Wołoszczuk

Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, Warszawa

E-mail: woloszczuk@clor.waw.pl

***Słowa kluczowe*:** zagrożenia CBRN, zagrożenia radiacyjne, projekt CHIMERA

Rosnące zagrożenie zdarzeniami CBRN (chemicznymi, biologicznymi, radiologicznymi i nuklearnymi), wynikające zarówno z napiętej sytuacji geopolitycznej, jak i ryzyka działań terrorystycznych, powoduje konieczność opracowywania nowoczesnych systemów wspomagających działania służb ratowniczych. Szczególnie istotne są sytuacje, w których charakter zagrożenia nie jest znany na początkowym etapie akcji, co wymaga szybkiej identyfikacji czynnika niebezpiecznego przy wykorzystaniu wielu urządzeń pomiarowych. W praktyce oznacza to konieczność jednoczesnego monitorowania zagrożeń chemicznych, biologicznych, radiologicznych i nuklearnych oraz integracji danych pochodzących z różnych typów detektorów i systemów analitycznych.

W takich warunkach kluczowe znaczenie ma rozwój interoperacyjnych platform umożliwiających zbieranie, analizę i wizualizację danych w czasie rzeczywistym, a także wspomagających ocenę sytuacji i podejmowanie decyzji operacyjnych. Integracja heterogenicznych sensorów, algorytmów fuzji danych oraz narzędzi modelowania rozprzestrzeniania skażeń może znacząco zwiększyć skuteczność identyfikacji zagrożeń oraz ograniczyć liczbę fałszywych alarmów. Szczególną rolę odgrywa również możliwość szybkiego przekazywania informacji pomiędzy służbami reagowania, centrami kryzysowymi oraz operatorami systemów bezpieczeństwa.

Rozwój kompleksowych systemów wspierających działania CBRN ma bezpośredni wpływ na zwiększenie bezpieczeństwa first responders poprzez ograniczenie ich ekspozycji na nieznane czynniki niebezpieczne oraz skrócenie czasu potrzebnego do identyfikacji zagrożenia. Szybkie uzyskanie wiarygodnej informacji o rodzaju i skali incydentu pozwala na skuteczniejsze zarządzanie akcją ratowniczą, optymalizację wykorzystania zasobów oraz minimalizację ryzyka dla ratowników i ludności cywilnej.

Przykładem inicjatywy odpowiadającej na te wyzwania jest projekt CHIMERA, którego celem jest rozwój zintegrowanych narzędzi wspierających wykrywanie, analizę i ocenę zagrożeń CBRN poprzez integrację różnych technologii detekcyjnych, systemów zarządzania informacją oraz metod wspomagania decyzji dla służb reagowania kryzysowego.

Zaawansowane metody pomiarowe aktynowców w czasie normalnej pracy elektrowni jądrowej i w sytuacjach awaryjnych

Anna Cwanek, Edyta Łokas*
Instytut Fizyki Jądrowej, Polska Akademia Nauk, ul. Radzikowskiego 152, 31-342 Kraków
E-mail: edyta.lokas@ifj.edu.pl

Słowa kluczowe: spektrometria mas (ICP-MS/MS), izotopy promieniotwórcze, aktynowce (U, Pu, Np), monitorowanie radiologiczne, analityka ultraśladowa

We współczesnym świecie, charakteryzującym się rozwiniętymi i zaawansowanymi technologiami jądrowymi, powiązanymi nie tylko z energetyką jądrową, medycyną nuklearną czy kosmonautyką, lecz także z działalnością naukową, militarną oraz gospodarką odpadami promieniotwórczymi, równolegle wdrożone procedury ochrony radiologicznej stanowią obowiązujące standardy bezpieczeństwa jądrowego. Efektywne i precyzyjne metody ilościowego i jakościowego monitorowania izotopów promieniotwórczych w próbkach środowiskowych, biologicznych czy technologicznych odgrywają kluczową rolę w ocenie narażenia ogółu społeczeństwa oraz otaczającego środowiska, szczególnie w przypadku zidentyfikowania podwyższonego poziomu promieniowania jonizującego. Radioizotopy emitujące odpowiednio intensywne promieniowanie γ można mierzyć wprost z materiału badawczego za pomocą spektrometrii γ. Niemniej jednak szereg izotopów promieniotwórczych, istotnych z punktu widzenia kontroli sytuacji radiacyjnej, lecz znacznie łatwiej wykrywalnych poprzez emitowane promieniowanie α i β, stanowi wyzwanie zarówno radiochemiczne, jak i radiometryczne. W ostatnich dekadach postęp technologiczny w dziedzinie spektrometrii mas, zwłaszcza w spektrometrii mas z plazmą indukcyjnie sprzężoną (ICP-MS), akceleratorowej spektrometrii mas (AMS) czy spektrometrii mas z jonizacją termiczną (TIMS), znacząco przyczynił się do wydajnego i jednocześnie dokładnego pomiaru wielu radioizotopów występujących na poziomie ultraśladowym w szerokim zakresie próbek. W tym procesie jony o danym stosunku masy do ładunku *m/q* są separowane z wiązki przez system filtrów, a następnie zliczane przez detektor.

Podczas eksploatacji obiektów jądrowych, takich jak elektrownie jądrowe, wymogi bezpieczeństwa nakładają konieczność rutynowej kontroli sytuacji zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz obiektu poprzez regularne badanie izotopów promieniotwórczych—wykorzystywanych w produkcji energii (^{235}U i ^{239}Pu) oraz generowanych w wyniku dodatkowo zachodzących reakcji jądrowych (^{236}U, ^{240}Pu, ^{237}Np, ^{241}Am)—m.in. w chłodziwie reaktorowym, ściekach czy w powietrzu. W Instytucie Fizyki Jądrowej PAN w związku z instalacją instrumentu ICP-MS/MS Agilent 8900 (Agilent Technologies) wdrożono innowacyjne metody określania stężeń: ^{235}U, ^{236}U, ^{238}U, ^{239}Pu i ^{240}Pu, a także sygnatur izotopowych: ^{235}U/^{238}U, ^{236}U/^{238}U i ^{239}Pu/^{240}Pu. Osiągnięte limity detekcji na poziomie zaledwie kilku fg/g (10^{-15} g/g) pozwalają zidentyfikować i zanalizować zawartość sztucznych aktynowców w próbkach gleby, osadów, wody, żywności oraz w materiale organicznym charakteryzującym się nawet niskim zanieczyszczeniem substancjami promieniotwórczymi. W najbliższej przyszłości planowane jest poszerzenie oferty badawczej o procedury pozwalające także na określanie zawartości ^{99}Tc i ^{237}Np za pomocą ICP-MS/MS.

Sztuczna inteligencja w ochronie radiologicznej: szybkie modelowanie dyspersji atmosferycznej w terenach miejskich na potrzeby wspomagania decyzji w czasie rzeczywistym

Anna Wawrzyńczak-Szaban

Narodowe Centrum Badań Jądrowych, Świerk-Otwock, Polska

E-mail: Anna.Wawrzynczak-Szaban@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: sztuczna inteligencja, ochrona radiologiczna, dyspersja atmosferyczna, lokalizacja źródła uwolnienia, tereny miejskie, wspomaganie decyzji

Rozwój energetyki jądrowej oraz potrzeba wzmacniania bezpieczeństwa państwa wymagają doskonalenia narzędzi wspierających działania w przypadku niekontrolowanego uwolnienia substancji promieniotwórczych do atmosfery. Szczególnym wyzwaniem są obszary miejskie i przemysłowe, w których obecność budynków istotnie wpływa na przepływ powietrza oraz lokalny rozkład stężenia uwolnionej substancji. W takich warunkach szybkie określenie lokalizacji i parametrów źródła uwolnienia może mieć kluczowe znaczenie dla oceny zagrożenia oraz podjęcia odpowiednich działań ochronnych.

Przedstawię koncepcję wykorzystania sztucznej inteligencji, w szczególności głębokich sieci neuronowych, jako szybkich modeli zastępczych dla zaawansowanych modeli dyspersji atmosferycznej. Rozwiązanie to jest rozwijane na potrzeby stworzenia systemu lokalizacji źródła uwolnienia w czasie rzeczywistym, wykorzystującego dane z sieci detektorów oraz informacje meteorologiczne. W takim systemie model neuronowy umożliwiałby wielokrotne, bardzo szybkie obliczenia stężenia w punktach pomiarowych dla różnych hipotetycznych parametrów źródła, wspierając rekonstrukcję jego położenia, intensywności oraz czasu trwania uwolnienia.

Przeprowadzone dotychczas badania dla złożonego terenu miejskiego wykazały, że odpowiednio wytrenowana sieć neuronowa może odwzorowywać przestrzenno-czasową ewolucję chmury zanieczyszczeń przy znacznym skróceniu czasu obliczeń w porównaniu z modelem dyspersji wykorzystanym do wygenerowania danych uczących. Otrzymane wyniki potwierdzają potencjał modeli opartych na sztucznej inteligencji do zastosowania w sytuacjach, w których czas uzyskania prognozy oraz szybkiej rekonstrukcji źródła jest szczególnie istotny.

W kontekście ochrony radiologicznej proponowane podejście może w przyszłości wspierać ocenę rozprzestrzeniania się skażeń, identyfikację obszarów potencjalnego zagrożenia oraz podejmowanie decyzji dotyczących wczesnych działań ochronnych. Kluczowymi elementami dalszych prac są przygotowanie reprezentatywnych, specyficznych dla analizowanej lokalizacji zbiorów danych treningowych oraz walidacja modelu w scenariuszach uwolnień promieniotwórczych i zróżnicowanych warunków meteorologicznych.

Strefy oraz dystanse planowania awaryjnego dla obiektów jądrowych

Piotr Kopka

Zakład Energetyki Jądrowej i Analiz Środowiska

Narodowe Centrum Badań Jądrowych, ul. Andrzeja Sołtana 7, 05-400 Otwock-Świerk

E-mail: piotr.kopkak@ncbj.gov.pl

Słowa kluczowe: planowanie awaryjne, strefy planowania awaryjnego, bezpieczeństwo jądrowe, ochrona radiologiczna.

Wyznaczanie stref oraz dystansów planowania awaryjnego wokół obiektów jądrowych stanowi jeden z kluczowych elementów systemu ochrony ludności przed skutkami zdarzeń radiacyjnych. Dla jednostek organizacyjnych wykonujących działalność zaliczaną do I i II kategorii zagrożeń właściwe określenie obszarów wymagających przygotowania działań ochronnych ma zasadnicze znaczenie dla skutecznego reagowania w sytuacjach awaryjnych. W szczególności dotyczy to wyznaczania strefy planowania natychmiastowych działań interwencyjnych, dystansu rozszerzonego planowania oraz dystansu planowania spożycia i kontroli towarów.

W prezentacji przedstawione zostaną doświadczenia związane z wyznaczaniem stref planowania awaryjnego dla różnego typu obiektów jądrowych do II kategorii. Omówione zostaną stosowane podejścia obliczeniowe, źródła niepewności oraz wpływ przyjętych założeń dotyczących scenariuszy awaryjnych, warunków meteorologicznych i kryteriów radiologicznych na ostateczny zasięg stref ochronnych.

W końcowej części prezentacji przedstawione zostaną propozycje możliwych kierunków rozwoju krajowych regulacji oraz rekomendacje dotyczące wyznaczania stref i dystansów planowania awaryjnego dla obiektów II kategorii zagrożeń. Omówione zostaną również możliwości wykorzystania nowoczesnych metod modelowania probabilistycznego oraz analiz ryzyka do optymalizacji procesów planowania awaryjnego przy zachowaniu wysokiego poziomu ochrony ludności i środowiska.

Sesja plakatowa

Wpływ naturalnego tła promieniowania na odpowiedź komórkową po przewlekłej ekspozycji na promieniowanie o niskiej mocy dawki

Bartłomiej Kociński

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

E-mail: bartlomiej.kocinski@fuw.edu.pl

Słowa kluczowe: promieniowrażliwość, niskie dawki promieniowania, uszkodzenia DNA, naprawa DNA

Ocena ryzyka nowotworowego wynikającego z narażenia na promieniowanie jonizujące nadal opiera się głównie na danych pochodzących z badań epidemiologicznych populacji narażonych na wysokie dawki promieniowania. Tymczasem wpływ przewlekłej ekspozycji na bardzo niskie dawki i moce dawki, typowe dla środowiska medycznego, zawodowego czy naturalnego, pozostaje nie w pełni poznany. Dotyczy to również różnic w działaniu promieniowania o różnej jakości: alfa, beta i gamma. Istnieje zatem potrzeba zwiększania dostępnych informacji, na których można oprzeć szacowanie ryzyka związanego z niskodawkową ekspozycją na promieniowanie o zróżnicowanej charakterystyce fizycznej i biologicznej. Celem projektu było zbadanie, w jaki sposób środowiskowe tło promieniowania wpływa na promieniowrażliwość komórek oraz na kinetykę naprawy uszkodzeń DNA po długotrwałym narażeniu na bardzo niskie dawki promieniowania. W badaniach wykorzystano naturalne źródło promieniowania skonstruowane na bazie popiołu łupków ałunowe, umożliwiające długotrwałą ekspozycję komórek U2OS na poziomie około 1 μGy/h. Komórki hodowane są zarówno w warunkach naturalnego tła promieniowania, jak i w środowisku o obniżonym tle, zapewnianym przez ołowiany bunkier umieszczony wewnątrz inkubatora. Odpowiedź komórkowa analizowana jest na podstawie liczby ognisk naprawczych NBS1, będących czułym markerem uszkodzeń DNA. Wyniki sugerują, że nawet dawki w zakresie μGy mogą wywoływać odpowiedź komórkową, a obecność naturalnego tła promieniowania ją moduluje. Uzyskane dane mogą pomóc w identyfikacji biomarkerów wrażliwości na promieniowanie, co w przyszłości może przełożyć się na bardziej świadome zarządzanie ryzykiem w opiece nad pacjentem onkologicznym i zrozumieniu indywidualnej reakcji organizmu ludzkiego na promieniowanie jonizujące.

Oznaczanie zawartości ^{241}Am w próbkach gleby i osadów morskich w osadach dennych południowego Bałtyku

D. Strumińska-Parulska*, K. Block

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

e-mail: dagmara.struminska@ug.edu.pl

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

Ocena zawartości sztucznych radionuklidów 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 radiochemiczne metody oznaczania ^{241}Am w próbkach gleby i osadów morskich z wykorzystaniem spektrometrii cząstek alfa, gdyż ta technika pomiarowa odgrywa kluczową rolę w ilościowym oznaczaniu niskoaktywnych 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 w usuwaniu żelaza z próbek geologicznych, wykorzystując strącanie szczawianem wapnia. Do przygotowania preparatów pomiarowych wykorzystano współstrącanie z fluorkiem neodymu (NdF3). W trakcie analiz wykluczono jedną z metod radiochemicznych oznaczania ^{241}Am w próbkach osadów i gleby (metoda D).

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

D. Strumińska-Parulska*, G. Olszewski

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

e-mail: dagmara.struminska@ug.edu.pl

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

W oparciu o dostępne wyniki badań oszacowano zawartość antropogenicznego beta promieniotwórczego plutonu ^{241}Pu w głównych składnikach ekosystemu Zatoki Gdańskiej i Basenu Gdańskiego. 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), zaś 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.

Ocena radioaktywności płachetki zwyczajnej *Cortinarius caperatus* i jej wpływ na zdrowie człowieka

Karolina Szymańska[1], Dagmara Strumińska-Parulska[1], Grzegorz Olszewski[1], Jerzy Falandysz[2]

[1]*Katedra Chemii i Radiochemii Środowiska, Wydział Chemii, Uniwersytet Gdański, ul. Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk, Polska*
[2]*Zakład Toksykologii, Wydział Farmaceutyczny, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Muszyńskiego 1, 90-151 Łódź, Polska*

E-mail: karolina.szymanska@ug.edu.pl

Słowa kluczowe: Płachetka zwyczajna, *Cortinarius caperatus,* biokoncentracja radionuklidów

Płachetka zwyczajna (*Cortinarius caperatus*) jest cenionym grzybem jadalnym występującym w klimatach północnych, znanym z tendencji do akumulacji cezu ($^{134/137}$Cs). Informacje dotyczące jej zdolności do gromadzenia innych radionuklidów są jednak ograniczone. Celem pracy była ocena aktywności ^{210}Po i ^{210}Pb w owocnikach tego gatunku oraz w glebie leśnej (warstwa 0–10 cm) w 20 lokalizacjach północnej Polski, a także oszacowanie potencjalnego narażenia radiologicznego konsumentów.

Stężenia ^{210}Po i ^{210}Pb w grzybach wynosiły odpowiednio 0,92–10,0 oraz 0,36–13,1 Bq·kg^{-1} suchej masy, natomiast w glebach 10,5–46,6 oraz 11,0–46,2 Bq·kg^{-1} suchej masy. Wyznaczone współczynniki biokoncentracji wskazują na brak tendencji gatunku do akumulacji obu radionuklidów.

Szacowana dawka skuteczna związana ze spożyciem 100 g świeżych owocników wynosiła 22,0–64,4 nSv z rozpadu ^{210}Po i ^{210}Pb. Ocena ryzyka radiologicznego wykazała, że przy konsumpcji 5 kg grzybów rocznie przez 50 lat, dodatkowe ryzyko nowotworowe związane wyłącznie z tymi radionuklidami wynosi 10^{-6}, co odpowiada jednemu dodatkowo przypadkowi nowotworu na milion konsumentów.

Uzyskane wyniki wskazują, że mimo zdolności płachetki zwyczajnej do akumulacji cezu $^{134/137}$Cs, poziomy ^{210}Po i ^{210}Pb w owocnikach nie stanowią istotnego zagrożenia radiologicznego dla konsumentów w warunkach typowej konsumpcji.

Ochrona Radiologiczna w Narodowym Centrum Promieniowania Synchrotronowego – SOLARIS

Magdalena B. Jaglarz*, Katarzyna Wichucka, Dominik Raś

Narodowe 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. NCPS 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 przyspiesza wiązkę elektronową wytworzoną w dziale elektronowym. Wiązka ta jest następnie wstrzykiwana do pierścienia akumulacyjnego synchrotronu (akcelerator kołowy), gdzie elektrony osiągają energię 1,5 GeV. Zakrzywienie ich toru w polu magnetycznym (magnesach lub undulatorach), generuje intensywne i szerokopasmowe promieniowanie synchrotronowe, od podczerwieni do promieniowania rentgenowskiego, które kierowane jest następnie na linie badawcze. Dzięki swoim unikalnym właściwościom promieniowanie synchrotronowe wykorzystywane jest w wielu dziedzinach nauki i techniki, takich jak fizyka, chemia, biologia, materiałoznawstwo, a nawet archeologia, umożliwiając szczegółowe badania struktury i właściwości materii na poziomie atomowym i molekularnym. Podstawowym celem działania ośrodka jest udostępnianie infrastruktury badawczej krajowemu i zagranicznemu środowisku naukowemu. Co roku ośrodek gości setki badaczy z całego świata.

W NCPS SOLARIS badania naukowe są obecnie prowadzone na liniach synchrotronowych: PIRX, URANOS, PHELIX, DEMETER, ASTRA, POLYX i CIRI, wykorzystujących światło w zakresie energii fotonów od 0.0125 eV do 16000 eV [1]. Nowo udostępnione linie synchrotronowe POLYX i CIRI zwiększyły możliwości jednostki w zakresie obrazowania struktury powierzchniowej i objętościowej, składu pierwiastkowego oraz faz chemicznych z rozdzielczością mikro – i nanometryczną. Ponadto w NCPS SOLARIS znajdują się dwa kriomikroskopy elektronowe dedykowane do badań biostrukturalnych.

Z punktu widzenia ochrony radiologicznej jednym z kluczowych wyzwań 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 krótkożyciowych radioizotopów. Zgodne z wymogami polskiego Prawa Atomowego ośrodek zapewnia odpowiedni poziom bezpieczeństwa radiologicznego, poprzez wdrażanie specjalistycznych procedur oraz poprzez ciągły monitoring poziomu promieniowania jonizującego.

W obrębie jednostki środowisko pracy kontrolowane jest z wykorzystaniem termoluminescencyjnych dozymetrów pasywnych (TLD) oraz stacji promieniowania jonizującego (RMS - Radiation Monitoring Station) [2]. Dozymetry środowiskowe TL rozmieszczone są w 64 punktach. Dodatkowo do monitorowania dawek otrzymywanych przez pracowników NCPS SOLARIS, zakwalifikowanych do pracowników kategorii B (aktualnie 125 osób), używane są indywidualne dozymetry TL, odczytywane co 3 miesiące w akredytowanym laboratorium.

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), który w przypadku przekroczenia progów alarmowych automatycznie wyłącza wiązkę lub zamyka tzw. przesłony bezpieczeństwa danej linii eksperymentalnej [3]. System ten kontroluje również dostęp do stref akceleratora, takich jak tunel akceleratora liniowego czy pierścień akumulacyjny, które podczas pracy synchrotronu są niedostępne dla personelu.

Stacje RMS współpracują z aplikacjami do monitorowania i wizualizacji dawek promieniowania w czasie rzeczywistym oraz z systemem archiwizacji danych. Dodatkowo, na terenie ośrodka prowadzone są regularne pomiary dozymetryczne z użyciem przenośnych radiometrów, szczególnie w rejonie pierścienia akumulacyjnego i linii badawczych.

Na podstawie pomiarów oraz raportów z akredytowanego laboratorium badawczego w zakresie pomiarów dawek, poziom promieniowania w NCPS SOLARIS nie przekracza wartości dopuszczalnych dla stref nieklasyfikowanych, co potwierdza wysoki poziom bezpieczeństwa radiologicznego oraz skuteczność wdrożonych procedur.

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.

Literatura:

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

[2] Magdalena B. Jaglarz, Justyna Wikłacz, Adriana I. Wawrzyniak, "Radiation safety at Solaris 1.5 GeV storage ring" IPAC2019, Melbourne, Australia, JACoW Publishing doi:10.18429/JACoW-IPAC2019-THPRB059

[3] Magdalena B. Jaglarz, Dagmara Michoń, Barbara Zdrodowska- Pawluś, Krzysztof Wawrzyniak, Mateusz Agustyn, Adriana I. Wawrzyniak „Radiation Protection and Personal Safety System at SOLARIS National Synchrotron Radiation Centre" Radsynch23, 11th International on Radiation Safety at Synchrotron Sources, ESRF-Grenoble-France, 30 May-2 June 2023

Society, Nuclear Energy and Radiological Protection - Beyond LNT

Michael P.R. Waligórski[1,2*], Marek K. Janiak[3], James S. Welsh[4,5]

[1]*Emeritus, Polish Academy of Sciences, Institute of Nuclear Physics, Kraków, Poland*
[2]*Emeritus, Kraków Division, National Institute of Cancer, Kraków, Poland*
[3]*Emeritus, Military Institute of Hygiene and Epidemiology, Warsaw, Poland*
[4]*Edward Hines Jr., VA Hospital, Department of Radiation Oncology, and Loyola University Chicago Stritch School of Medicine, Maywood, IL, USA*

E-mail: z5waligo@cyfronet.pl

Keywords: dose-response curve, LNT, radiation hormesis, ionizing radiation, background radiation, reactive oxygen species

In a recent paper, Allison (Health Phys. 2024) proposed that a daily limit of 2 mGy will adequately protect the general public and radiation workers against any health-threatening effects of ionizing radiation. The 2 mGy/day limit, established at the 1934 Congress of Radiology for radiologists exposed to diagnostic X-rays, is over 500 times that currently recommended by ICRP for the general public. This illustrates the severe over-restrictiveness and irrationality of the present LNT-based system of radiological protection that is recommended by ICRP and NCRP and is legally implemented worldwide. To stimulate further discussion on developing a more rational "post-LNT" system, we indicate and briefly discuss some relevant publications, which also present arguments which could be helpful in managing radiation risk and in reducing public fear of nuclear radiation. Society should then become more willing to accept and appreciate the unique opportunities offered by nuclear technology, especially in health care and energy production.

Literature:

[1] Allison W. Society and Nuclear Energy: What is the Role for Radiological Protection? Health Phys. 2024;126(6):405-418.

[2] Waligórski MPR, Janiak MK, Welsh JS. Society, Nuclear Energy and Radiological Protection - Beyond LNT. Dose Response. 2026;24(2):15593258261445027. doi:10.1177/15593258261445027

Dozymetria retrospektywna w sytuacjach awaryjnych: rozwój szybkich protokołów pomiarowych

Aleksandra Jung

Akademia Górniczo-Hutnicza im. Stanisława Staszica w Krakowie

E-mail: jung@agh.edu.pl

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

Dozymetria retrospektywna odgrywa istotną rolę w ocenie narażenia na promieniowanie jonizujące w sytuacjach awaryjnych, takich jak incydenty radiacyjne, skażenia środowiska czy brak dostępu do standardowych systemów dozymetrii indywidualnej. W kontekście rosnącego znaczenia bezpieczeństwa radiacyjnego, związanego m.in. z rozwojem energetyki jądrowej oraz potencjalnymi zagrożeniami o charakterze radiologicznym, szczególnego znaczenia nabiera możliwość szybkiej i wiarygodnej rekonstrukcji dawki.

W dotychczas prowadzonych badaniach analizowano właściwości termoluminescencyjne (TL) oraz optycznie stymulowanej luminescencji (OSL) wybranych materiałów, takich jak kamienie szlachetne, składniki farmaceutyków oraz szkło pochodzące z ekranów telefonów komórkowych. Ostatni materiał jest najbardziej obiecujący pod kątem powtarzalności mierzonych sygnałów luminescencyjnych, co stwarza możliwość przygotowania uproszczonych i dzięki temu szybszych protokołów pomiarowych

Celem aktualnie prowadzonego projektu jest opracowanie bazy danych obejmującej szkła ekranów powszechnie stosowanych modeli telefonów komórkowych, uwzględniającej ich skład pierwiastkowy oraz właściwości dozymetryczne określane metodami TL oraz ERP (elektronowy rezonans paramagnetyczny). Badania prowadzone są we współpracy z Paris Lodron University Salzburg (Austria) oraz Gdańskim Uniwersytetem Medycznym. Współpraca naukowa jest finansowana przez Narodową Agencję Wymiany Akademickiej (NAWA) w ramach projektu o numerze BPN/BAT/2025/1/00005.

W ramach prowadzonych badań analizowana jest m.in. przydatność skróconych procedur pomiarowych, które umożliwiają uzyskanie wiarygodnych wyników w krótkim czasie, co ma kluczowe znaczenie w sytuacjach awaryjnych oraz działaniach reagowania kryzysowego.

Opracowanie szybkich protokołów dozymetrii retrospektywnej stanowi istotny element systemu ochrony radiologicznej, wspierając działania związane z bezpieczeństwem publicznym oraz rozwojem energetyki jądrowej.

Monitoring stężeń ^{210}Po i ^{210}Pb w rybach bałtyckich i słodkowodnych oraz mięczakach

Alicja Boryło[1*], Klaudia Lanczewska-Bejenka[1], Paweł Rudnicki Velasquez[2]

[1]Uniwersytet Gdański, Wydział Chemii, ul. Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk

[2]Narodowy Instytut Leków, ul. Chełmska 30/34, 00-725, Warszawa

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

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo radiologiczne żywności, ^{210}Po, ^{210}Pb

Zasięg przestrzenny badania, które skupiało się na oznaczaniu ^{210}Po i ^{210}Pb w rybach bałtyckich i słodkowodnych oraz mięczakach dotyczył ważnego i aktualnego zagadnienia, jakim jest bezpieczeństwo radiologiczne spożywanej żywności, które spoczywa na producentach i dystrybutorach, a jednocześnie zabezpiecza interesy konsumenta. Zadanie miało charakter zarówno poznawczy, jak i utylitarny, a przede wszystkim wypełniło lukę badawczą dotyczącą inkorporacji polonu ^{210}Po i ołowiu ^{210}Pb wraz z konsumpcją przetworzonych produktów morskich dostępnych w sieciach handlowych.

Największe stężenie ^{210}Po i ^{210}Pb w przetworzonej żywności pochodzenia rybnego i mięczakach zmierzono odpowiednio dla sardynki i ośmiornicy, najmniejsze zaś dla łososia jeziorowego i makreli. Największe stężenie ^{210}Po i ^{210}Pb wśród świeżych ryb i mięczaków zmierzono dla miętusa nowozelandzkiego i omułka śródziemnomorskiego, najmniejsze natomiast dla pstrąga tęczowego oraz śledzia atlantyckiego. Największe stężenia tych radioizotopów prowadzą do dawek równych ułamkowi µSv/rok, a więc dawek wiążących się ze znikomym ryzykiem. Zbadano również, jak szczegółowy, zastosowany dla danego rodzaju próbki, proces przetwórczy i sposób przechowywania próbek, wpływa na zawartość w/w radionuklidów.

Otrzymane stężenia ^{210}Po:

- nie stwierdzono statystycznie istotnych różnic dla otrzymanych stężeń ^{210}Po, biorąc pod uwagę kryterium rodzaju zalewy
- różniły się statystycznie w zależności od metody przechowywania ryb i mięczaków (puszki, opakowania próżniowe),
- wykazano również istotnie statystyczne różnice stężeń ^{210}Po między rybami pochodzącymi z konserw a rybami pakowanymi próżniowo, świeżo odłowionymi oraz pochodzącymi z akwakultur.

Otrzymane stężenia ^{210}Pb:

- nie różniły się między sobą istotnie statystycznie w zależności od rodzaju zalewy, w jakiej umieszczano ryby i mięczaki przed ostatecznym zamknięciem,
- nie stwierdzono również istotnych statystycznie różnic, biorąc pod uwagę kryterium pakowania ryby i mięczaków,
- istotne statystyczne różnice stężeń ^{210}Pb stwierdzono, biorąc pod uwagę gatunek ryby i mięczaków.

Przeprowadzone badania stężeń izotopów ^{210}Po i ^{210}Pb w mięczakach, produktach rybnych i rybach dostępnych na polskim rynku spożywczym 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

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

Grzegorz Olszewski[1], Paulina Truszkowska[2], Ibtisam Yusuf[3,4] , Alexandr Malusek[3], Håkan B.L. Pettersson[3,4]

[1] *Katedra Chemii i Radiochemii Środowiska, Wydział Chemii, Uniwersytet Gdański, Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk, Polska*
[2] *Katedra Chemii Bionieorganicznej, Wydział Chemii, Uniwersytet Gdański, Wita Stwosza 63, 80-308 Gdańsk, Polska*
[3] *Department of Medical Radiation Physics, and Department of Health, Medicine and Caring Sciences, Linköping University, 58183 Linköping, Szwecja*
[4] *Clinical Department of Medical Radiation Physics, Region Östergötland, Linköping, Szwecja*

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

Słowa kluczowe: gadolin, próbki środowiskowe, spektrometria alfa

^{148}Gd, emiter α (Eα = 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, wykorzystując pomiar stabilnego gadolinu za pomocą metody ICP-MS. Wyznaczono wydajności poszczególnych etapów analizy radiochemicznej oraz sprawdzono możliwości rozdziału gadolinu od matrycy próbki i pozostałych metali ziem rzadkich.

Uzyskane wyniki znakowanych stabilnym gadolinem prób ślepych wskazują, że zastosowanie wieloetapowej analizy rozdziału gadolinu od matrycy próbki, aktynowców oraz innych alfa emiterów, a na koniec wyodrębnienie gadolinu z frakcji metali ziem rzadkich, pozwala uzyskać maksymalną wydajność procesu na poziomie 75% [2].

Metodę zwalidowano na różnych matrycach środowiskowych (filtry powietrza, gleba, woda, mocz) a uzyskane wyniki potwierdzają możliwości wykorzystania opracowanej metdy w monitoringu radiacyjnym. Uzyskane odzyski chemiczne mieściły się w zakresie od 26% dla filtrów powietrza do 60% dla gleby, przy minimalnych wykrywalnych aktywnościach wynoszących nawet 0,23 mBq g^{-1} dla gleby oraz 0,28 mBq L^{-1} dla wody przy czasie akwizycji 25 h [3].

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

Literatura:

1. N.M. Chiera, R. Dressler, P. Sprung, Z. Talip, D. Schumann, Determination of the half-life of gadolinium-148, Applied Radiation and Isotopes 194 (2023) 110708. 257.
2. G. Olszewski, P. Lindahl, P., P. Frisk, M. Eriksson, H.B.L Pettersson, Development of ^{148}Gd analysis method using stable Gd, Talanta, Volume 229, 2021,122295.
3. G. Olszewski, P. Truszkowska, I. Yusuf, H.B.L Pettersson, A. Malusek, Radioanalytical method for ^{148}Gd analysis in environmental and bioassay samples, Applied Radiation and Isotopes, Volume 233, 2026, 112578.